

556

1491

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВО И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

Е.Г.Мурашова

ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

**БЛАГОВЕЩЕНСК
Издательство ДальГАУ
2013**

Книги ДальГАУ



2 400000 579809

УДК 551.4 +551.49(09)

Мурашова, Е.Г. Основы гидрогеологии: учебное пособие / Е.Г. Мурашова. – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 142 с.

В работе рассматриваются общие понятия о генезисе, залегании, видах подземных вод в горных породах и их свойства, типы подземных вод, основные законы о движении подземных вод в естественных условиях и к водосборным сооружениям, даны уравнения для определения коэффициента фильтрации по данным откачек. Рассмотрены вопросы гидрогеологических исследований для различных видов водоснабжения.

Учебное пособие составлено согласно требованиям государственного образовательного стандарта для студентов направлений 280100.62 «Природообустройство и водопользование», 270800.62 «Строительство».

Рецензент – Е.В. Окладникова, к.т.н, доцент

ВВЕДЕНИЕ

Воды, находящиеся в верхней части земной коры и залегающие ниже поверхности земли, называются *подземными*. Подземные воды — один из важнейших компонентов геологической среды, их происхождение, динамика, качественные и количественные изменения во времени и геологическая деятельность являются предметом изучения науки *гидрогеологии*.

В последнее время важное значение приобретают вопросы изучения подземных вод в целях их комплексного использования, охраны от загрязнения и истощения, выявления их влияния на условия строительства. К подземным водам относятся все воды, находящиеся в почвах и горных породах ниже поверхности земли, которые являются частью водной оболочки Земли — *гидросферы*, будучи тесным образом связаны с различными водными объектами (реками, озерами, морями и океанами) и водами атмосферы. Вследствие такой взаимосвязи подземные воды участвуют в общем круговороте воды в природе.

Подземные воды относятся к важнейшим полезным ископаемым. Они стали сейчас основными (а в некоторых странах — единственными) источниками водоснабжения и орошения. Кроме того, во все возрастающем объеме они используются в качестве лечебного средства на курортах, как сырье для извлечения промышленных компонентов и в термоэнергетических целях.

Издавна подземные воды используются человеком для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения. Высокотемпературные воды применяются для отопления, выработки электроэнергии, выращивания овощей и фруктов и коммунальных целей.

Подземные воды играют ведущую роль в развитии народного хозяйства нашей страны. Хозяйственно-питьевое водоснабжение большинства населенных пунктов базируется на использовании подземных вод. Подземные воды широко используются при орошении земель, в горном деле, при освоении месторождений полезных ископаемых.

Вода в той или иной степени влияет на все геологические процессы, происходящие в недрах Земли. С ее участием формируются и разрушаются горные породы, изменяется облик земной поверхности. Ни один геологический процесс не может быть понят без изучения истории поведения воды в земной коре.

Подземные воды при строительстве гидротехнических сооружений, туннелей, метрополитенов и т.п. значительно усложняют ведение работ, обуславливая необходимость применения дренажных и гидроизоляционных мероприятий, нередко очень сложных, что значительно усложняет и удорожает строительство.

Для строителей подземные воды в одних случаях служат источником водоснабжения, а в других выступают как фактор, затрудняющий строительство, особенно сложным является производство земляных и горных работ в условиях притока подземных вод, затопливающих котлованы, карьеры, траншеи.

Подземные воды ухудшают механические свойства рыхлых и глинистых пород, могут быть агрессивной средой для металлических и бетонных сооружений, могут выступать в роли агрессивной среды по отношению к строительным материалам, вызывают растворение многих горных пород (ангидрит, известняк и др.) с образованием пустот, способствуют образованию неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений.

В курсе изучения гидрогеологии значительное место отводится изучению динамики подземных вод, что позволяет принимать наиболее целесообразные и рентабельные меры по борьбе с отрицательными инженерно-геологическими процессами и явлениями при строительстве и эксплуатации сооружений. Знание законов движения подземных вод позволяет рациональнее использовать природные ресурсы.

Глобальное проникновение вглубь земной коры, как никогда требует научного предвидения для разработки мероприятий по охране подземных вод от загрязнения и истощения.

Глава 1. КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Вода - одно из самых распространенных в природе веществ. Она встречается в парообразном, жидком и твердом состояниях во всех основных сферах Земли. В атмосфере (пары, облака, снег, град, дождь), в гидросфере (океаны, моря, озера, реки, болота, ледники, снег), в литосфере (подземные воды, пары, лед, связанная вода), в биосфере (во всех живых организмах и растениях).

Все виды воды взаимосвязаны друг с другом. Вода и её состояния изучаются различными дисциплинами: парообразная - физикой и метеорологией, твердая (лёд) - гляциологией и мерзлотоведением; жидкая поверхностная - океанологией и гидрологией, подземная - гидрогеологией.

Воды атмосферы, гидросферы и литосферы находятся в непрерывном взаимодействии и перемещении. Выпадающие на поверхность Земли атмосферные осадки частично стекают через реки в моря и океаны (поверхностный сток), частично просачиваются (инфильтруются) через почву, обеспечивая питание влагой растений и пополнение подземных вод, а частично снова испаряются в атмосферу. Подземные воды, в свою очередь, передвигаясь по пластам трещиноватых и пористых горных пород, поступают в поверхностные водотоки и водоемы (реки, озёра, моря, океаны),

Вода в природе находится в постоянном движении; испаряясь с поверхности морей, океанов и суши, она в парообразном состоянии поступает в атмосферу. Пары конденсируются в виде атмосферных осадков (снег, дождь), вновь возвращаясь на поверхность земли, т.е. в различные водохранилища и на сушу. В природе происходит круговорот воды - малый и большой (рис. 1).

При *малом круговороте* испарившаяся вода возвращается в моря и океаны. При *большом круговороте* после выпадения на сушу, вода возвращается в море путём поверхностного стока и путем подземного стока в виде подземных вод.

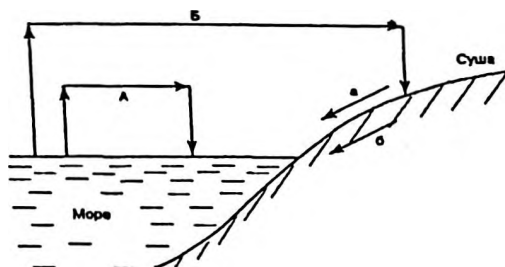


Рис. 1. Крутооборот воды в природе: А - малый; Б - большой;
а - наземным путём; б - подземным путём

Вода в природе встречается в трех состояниях: парообразном, жидком и твердом. Переход воды из одного состояния в другое происходит под влиянием солнечного тепла, а также жизнедеятельности растений и других факторов.

В атмосфере вода содержится в виде пара, в капельно-жидком (облака и туман) и твердом состоянии (ледяные кристаллы, град, снег). В среднем в атмосфере содержится около $14\,000\text{ км}^3$ воды, преимущественно в виде пара. Но благодаря постоянному пополнению атмосферной влаги за счёт испарения, на поверхность земли ежегодно выпадает около 520 тыс. км^3 осадков.

На поверхности земли вода в жидком состоянии скапливается в океанах, морях, озерах, болотах, реках, а также находится в виде ледников и снега, образуя *гидросферу*; основная масса воды гидросферы составляет Мировой океан — около 1370 млн. км^3 . В водах Мирового океана в колоссальных количествах в растворенном виде находятся почти все элементы таблицы Менделеева, например: золота около 10 млрд. т, серебра около 200 млрд. т, молибдена около 300 млрд. т и т. д. (данные Л. А. Зенкевича). Морская вода содержит примерно $2 \cdot 10^{13}$ т тяжелой воды. Теоретически запасов тяжелой воды как источника ядерной энергии хватит человечеству на миллиарды лет.

В земной коре — *литосфере*, вода находится в парообразном, физически и химически связанном (цеолитная, кристаллизационная и конституционная), жидком и в твердом состоянии. Вода, находящаяся во всех живых организмах и растениях, образует *биосферу*.

Воды атмосферы, гидросферы, верхней части литосферы и биосферы находятся в самой тесной связи между собой. Испаряясь с поверхности океанов, озер, других водоёмов и с суши, а также превращаясь в парообразное состояние в результате жизнедеятельности организмов, вода переходит в атмосферу, а из атмосферы вновь выпадает на поверхность земли в виде дождя, града, снега и других осадков, составляя звенья общего круговорота воды на земле, одного из самых грандиозных транспортных процессов. Это один из главных механизмов, обуславливающих формирование поверхности земли, обмен веществ и энергии.

Интенсивность водообмена подземных вод. В процессе круговорота воды в природе происходит постоянное возобновление природных вод, в том числе и подземных. Процесс смены первоначально накопившихся вод поступающими вновь называются *водообменном*.

Интенсивность водообмена подземных вод различна и зависит от глубины их залегания:

- 1) зона *интенсивного* водообмена. Воды пресные, слабоминерализованные расположены до глубины 300-400 м, дренируются реками, воды молодые;
- 2) зона *замедленного* водообмена. Воды солоноватые и солёные, глубина залегания 600-2000 м;
- 3) зона *весьма замедленного* водообмена. Воды типа рассолов приурочены к глубоким зонам земной коры и полностью изолированы от поверхностных вод и атмосферных осадков.

Наибольшее значение для водоснабжения имеют подземные воды, циркулирующие в зоне интенсивного водообмена. Воды нижних зон в процессе водообмена практически не возобновляются, их запасы не пополняются.

1.1. Испарение

Испарение - процесс превращения воды из жидкого состояния в парообразное под влиянием температуры. В атмосферу парообразная влага поступает путем испарения с поверхности океанов, морей, озёр, болот, влажной почвы и листьев растений.

Подземные воды могут испаряться лишь на тех участках, где высота капиллярного поднятия достигает дневной поверхности.

Особым видом испарения является образование парообразной влаги в результате жизнедеятельности растений (травяной и древесной) - *транспирации*.

Испарение на суше зависит от многих факторов: от температуры, атмосферного давления, скорости движения ветра, дефицита влажности воздуха, количества осадков, характера растительного покрова, характера пород и почвы, рельефа, экспозиции места, близости уровня подземных вод и т. п. Чем выше температура местности и скорость движения ветра, тем при прочих равных условиях больше испарение; чем более влажен воздух, тем меньше испарение; чем более водопроницаемы породы и почвы, тем меньше испарение; со склонов южной экспозиции влаги испаряется больше; чем ближе к поверхности земли уровень грунтовых вод, тем больше испаряется влаги, поднимающейся по капиллярам в породах.

Испарение имеет существенное значение при решении вопросов осушения, орошения, при гидрогеологических исследованиях и т. п.

1.2. Осадки

Атмосферные осадки. Как указывалось, вода в атмосфере содержится в виде водяного пара и в других состояниях. В совершенно чистом воздухе сжижение водяных паров не происходит даже при охлаждении воздуха до точки росы и ниже. Для образования капелек воды, из которых состоят облака и туман, необходимо наличие в воздухе *ядер конденсации*, на поверхности которых и происходит сжижение водяного пара. В нижних слоях атмосферы содержатся многочисленные мелкие твердые частички (пыль, дым, растительные споры и т. п.), обладающие гигроскопичностью или химическим сродством с водой, которые и являются ядрами конденсации. Атмосферные осадки подразделяются на два типа:

1) осадки, образующиеся непосредственно на поверхности земли и наземных предметах вследствие понижения температуры воздуха до точки росы (роса, иней, изморозь и пр.);

2) осадки, выпадающие на поверхность земли из облаков (дождь, град, снег, крупа).

Количество осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах, который установился бы при отсутствии стока и испарения.

Интенсивность осадков - количество осадков, выпавших за 1 мин. Осадки с интенсивностью больше 0,5-1 мм/мин называются *ливнями*.

Атмосферные осадки выпадают крайне неравномерно по сезонам и по отдельным районам. В европейской части летом осадков выпадает больше, чем зимой, а в Средней Азии летом очень мало, а в иные годы равно нулю. В средней полосе европейской части осадков выпадает 400 - 600 мм, в северных районах - 100 - 300 мм, в Прикаспийском районе - 150-200 мм в год, а Амурской области - 450-730 мм в год.

Атмосферные осадки имеют решающее значение в питании подземных вод. При определении роли атмосферных осадков в питании подземных вод необходимо учитывать не только абсолютное количество осадков, но и их продолжительность, интенсивность, вид (жидкие, твердые), время выпадения, а также общие климатические, физико-географические и геологические условия изучаемой территории.

Количество выпадающих атмосферных осадков измеряется *дождемерами*, или *осадкомерами*, конструкция которых и методика работы с ними описываются в специальных руководствах по климатологии.

1.3. Поверхностный и подземный сток

Под стоком понимают ту часть атмосферных осадков и выходящих на поверхность подземных вод, которая реками выносится в моря и океаны. Поверхностный сток является одним из важнейших элементов круговорота воды в природе.

Количество воды, идущей на поверхностный сток, зависит от ряда факторов: климата, вида осадков, рельефа местности, водопроницаемости горных пород, искусственных факторов (создание водохранилищ на реках, оросительных систем, полезащитных лесных полос и т. п.). Главным фактором стока являются климатические условия. Чем больше выпадает атмосферных

осадков и чем меньше испарение, тем больше сток. В засушливых районах, где осадков выпадает очень мало, многие реки летом не имеют стока, пересыхают. Водопроницаемость пород существенно сказывается на стоке. Чем больше атмосферных осадков просачивается, превращаясь в подземные воды, тем меньше поверхностный сток.

Подземные воды питают реки в результате дренирования водоносных горизонтов, когда склоны речных долин их пересекают. Равнинные реки весной, летом и осенью питаются одновременно за счёт дождей и подземных вод, а зимой и в период засухи - почти исключительно за счёт подземных вод.

Количественно величина стока характеризуется коэффициентом стока и модулем стока, которые определяются обычно для площади всего бассейна реки в её устье, либо для любого другого участка реки. Для определения величины стока необходимо знать расход реки. Под *расходом реки* понимается количество воды, протекающее в единицу времени через поперечное сечение живого потока воды. Чтобы определить расход воды в том или ином сечении, необходимо знать среднюю скорость движения воды в реке V (в м/сек) и площадь водного потока F (м²).

Тогда расход реки

$$Q = V \cdot F, \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Коэффициент стока — отношение количества воды, стекающей с определенной площади водосборного бассейна за определенный период, к количеству выпавших осадков за тот же период в бассейне реки

$$n = h/x \cdot 100\%$$

где n - коэффициент стока, %; h — количество стекающей воды, мм водяного слоя; x — количество осадков, мм.

Модуль стока (M) — количество воды (Q), стекающей в единицу времени с 1 км² водосборной площади бассейна реки (F):

$$M = Q \text{ л/сек} / F_{\text{км}^2}$$

Общий модуль стока включает в себя модули поверхностного и подземного стока.

В гидрогеологии важно знать величину подземного стока на том или ином участке реки. Существуют многочисленные способы определения величины подземного стока, описываемые в специальной литературе. Модуль подземного стока является надежным показателем при оценке водоносности горных пород, распространенных на площади водосборного бассейна реки, и используется при гидрогеологических расчетах.

Контрольные вопросы

1. *Что изучает гидрогеология и её основные задачи?*
2. *Чем малый круговорот воды отличается от большого?*
3. *Что такое водообмен?*
4. *Какие факторы влияют на поверхностный сток?*
5. *Какова суть испарения?*

Глава 2. ГЕНЕЗИС ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды образуются большей частью путем инфильтрации атмосферных осадков, а частично путем *конденсации из воздуха*, при понижении температуры воздуха, находящегося в порах пород, до точки росы. Часть подземных вод, будучи *захороненной* в порах осадочных толщ, образуется одновременно с осадждением терригенных материалов на дне водоёмов; эти воды называются *седиментационными*.

Первоначально, по мнению большинства исследователей, вода на земле образовалась из магмы; в процессе её охлаждения и кристаллизации наряду с твердыми и газообразными компонентами выделялась также вода в виде пара, конденсировавшегося затем в жидкое состояние. И в настоящее время при вулканических извержениях в составе летучих преобладает вода в парооб-

разном состоянии. Подземная вода, образующаяся из магмы, называется *ювенильной*.

В круговороте воды на земле наиболее активно участвуют воды инфильтрационного и в меньшей мере конденсационного происхождения. Седиментационные воды, входящие в состав древних осадочных толщ, могут включаться в общий круговорот в результате геологических процессов (сжатия в складки, разрушения вышележащих толщ, образования трещин и т.п.) и время их круговорота измеряется геологическими масштабами времени. Еще меньше доля участия в общем круговороте ювенильных вод.

В местах залегания месторождений полезных ископаемых подземные воды образуются преимущественно путем инфильтрации. Об этом свидетельствует наблюдаемое почти во всех шахтах и рудниках увеличение притоков воды в горные выработки в весеннее время и после выпадения дождей, хотя и с некоторым запаздыванием.

По генезису выделяют несколько типов подземных вод: *инфильтрационные, конденсационные, седиментационные и ювенильные*.

Инфильтрационные подземные воды формируются в результате просачивания (фильтрации) в водопроницаемые горные породы атмосферных осадков: повышение уровня воды в колодцах при выпадении большого количества атмосферных осадков или таянии мощного снежного покрова и понижение уровня в засушливые годы.

Можно считать, что инфильтрация — основной источник пополнения подземных вод. В отдельных случаях наблюдается поступление воды в водоносные горизонты из рек, озер и морей. В то же время подземные воды участвуют в питании поверхностных водоёмов. В этом проявляются единство и взаимодействие всех типов природных вод.

Конденсационные подземные воды образуются в результате конденсации водных паров атмосферного и почвенного воздуха с образованием капельно-жидких свободных вод в поверхностных слоях земной коры.

В определенных климатических зонах, например в пустынях, где атмосферных осадков выпадает мало, а испаряемость очень велика, в формировании подземных вод определенную роль играет конденсация водяных паров воздуха в порах и трещинах горных пород. Этот процесс объясняется разностью упругости водяных паров атмосферного и почвенного воздуха. Если упругость водяного пара в свободном воздухе больше, чем в воздухе, заполняющем поры почв и горных пород, то он будет перемещаться из воздуха в почву. Попадая в область более низких температур, в почве и горных породах водяной пар начинает конденсироваться и переходить в жидкое состояние.

Аналогичный процесс конденсации может происходить внутри горной породы, если в ее отдельных частях упругость водяного пара различна. В результате конденсации в пустынях образуются линзы пресных вод над солеными грунтовыми водами.

Седиментационные подземные воды (захороненные, перекрытые) (лат. «седиментум» — осадок) - морского происхождения, образовавшиеся одновременно с накоплением морских осадков. В ходе последующего геологического развития такие воды могут претерпевать значительные изменения в процессе диагенеза (преобразования осадка в горную породу), тектонических движений и действия других факторов. В ряде случаев происходит смешение вод различного генезиса. Особенно большие изменения претерпевают воды морского генезиса при значительном тектоническом погружении и захоронении их мощными слоями более молодых отложений. Они попадают в условия повышенных давлений и температуры. Многие исследователи так и считают, что глубинные высокоминерализованные (соленые и рассолы) подземные воды представляют собой воды морского генезиса, сильно изме-

ненные при повышенных температурах и давлении и весьма затрудненном водообмене. Нередко такие воды называют погребенными.

Ювенильные подземные воды (лат. «ювенилис» — юный) образуются при дифференциации магмы.

Многие источники подземных вод в областях современной или недавней вулканической деятельности обладают повышенной температурой и содержат в растворенном состоянии необычные для поверхностных условий соединения и газовые компоненты. Эти воды могли образоваться из паров, выделяющихся из магмы при ее остывании. Поднимаясь по глубоким тектоническим трещинам и разломам, водяные пары попадают в области с более низкими температурами. Они конденсируются и переходят в капельно-жидкое состояние, создавая особый генетический тип подземных вод. Возможность образования некоторого количества воды магматогенным путем признается большинством исследователей.

Вместе с тем отмечается, что выделившиеся из магмы на глубине пары воды и другие газообразные компоненты, проникая вверх в земную кору, смешиваются с обычными подземными водами инфильтрационного происхождения и поступают на поверхность в смешанном виде.

Термальные источники полностью связаны с подземными инфильтрационными водами верхней зоны земной коры, испытавшими в процессе глубинной циркуляции нагревание и обогащение растворенными минеральными веществами и газами.

Контрольные вопросы

- 1. Назовите генетические типы подземных вод.*
- 2. Назовите факторы формирования конденсационных вод.*

Глава 3. ВИДЫ ВОДЫ В ГРУНТАХ

В настоящее время выделяют шесть видов воды.

1. Вода в виде *пара* содержится в воздухе, занимающем свободные от жидкой воды поры и трещины в горных породах. Она находится в динамическом равновесии с другими видами воды и с парами воды в атмосфере и обладает большой подвижностью. Последнее связано с неодинаковой упругостью паров в различных слоях пород и в атмосфере.

2. *Связанная вода*

Прочносвязанная вода (гигроскопическая) образуется путем адсорбции (лат. «адсорбцио» - поглощение) молекул парообразной воды на поверхности минеральных частиц горных пород. Прочносвязанная вода больше всего свойственна тонкодисперсным породам - суглинкам и глинам. Она облекает частицы породыномолекулярной тонкой пленкой, которая прочно удерживается молекулярными и электростатическими силами.

Рыхлосвязанная вода (плечная) располагается на поверхности частиц породы поверх прочносвязанной. Она образует более толстую пленку из нескольких слоев молекул и удерживается молекулярными силами. Чем толще пленка, тем меньше молекулярные связи в ее краевой части. Поэтому внешние слои рыхлосвязанной воды уже доступны для питания растений. Если толщина пленок у соседних частиц различная, то происходит медленное перемещение воды от частиц с большей толщиной пленки к частицам с меньшей толщиной пленки до их выравнивания.

3. *Капиллярная вода* заполняет частично или полностью капиллярные (лат. «капиллярис» - волосная) трубки, узкие поры и трещинки горных пород и удерживается в них силами поверхностного натяжения (капиллярных менисков). Влажность отложений, у которых все капилляры заполнены водой, называют капиллярной влагоемкостью. Различают два основных вида капиллярных вод.

Капиллярно-подвешенная вода не связанная с уровнем подземных вод. Она обычно образуется в верхней части почв и песчано-суглинистых грунтов зоны аэрации за счет инфильтрации атмосферных осадков. Подвешенная вода способна к восходящему передвижению в жидкой форме при испарении.

Капиллярно-подтянутая вода располагается непосредственно над уровнем фунтовых вод, от которого она поднимается снизу вверх, образуя капиллярную кайму. Высота капиллярного поднятия зависит от состава горных пород и колеблется от нескольких сантиметров в крупнозернистых отложениях до 2 - 3 м и более в суглинках. Капиллярно-подтянутая вода гидравлически связана с грунтовыми водами. Поэтому при сезонном и многолетнем колебаниях уровня грунтовых вод изменяется и верхняя поверхность капиллярной каймы.

4. *Гравитационная вода* (свободная) способна свободно перемещаться по порам, трещинам и другим пустотам в горных породах под влиянием силы тяжести или гидродинамического напора. Она может быть подразделена на воду, заполняющую полностью все поры, трещины и другие пустоты в водопроницаемых горных породах и образующую горизонты подземных вод, и воду, просачивающуюся сверху вниз в зоне аэрации (греч. «аэр» — воздух), т.е. в зоне, расположенной выше подземных вод.

5. *Вода в твёрдом состоянии* в виде кристалликов, прослоек и линз льда может образоваться при сезонном промерзании водонасыщенных горных пород, но особенно развита в областях распространения многолетне-мёрзлых горных пород. Свойства пород, сцементированных льдом, резко отличаются от свойств талых пород. Изучением свойств мерзлых пород занимается особая наука — *мерзлотоведение*.

6. *Кристаллизационная* (химически связанная) вода входит в состав ряда минералов и принимает участие в их кристаллической решетке (гипс

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – водный сульфат (содержит 20,9 % воды по массе), лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – гидроокисел железа, опал $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – гидрогель. Удаление этой воды возможно при нагревании до 100°C и выше.

Конституционная вода входит в состав кристаллической решетки минералов в виде ионов H^+ и OH^- , участвуя в их строении например $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При разрушении кристаллической решетки минералов выделяются водород и гидроокислы, которые связываются и образуют молекулы воды. Выделение конституционной воды при нагревании у каждого минерала происходит в определенном температурном интервале (обычно выше 300°C) и сопровождается поглощением тепла. Это позволяет определять некоторые минералы при помощи термического анализа, для чего употребляются специальные приборы — *термографы*.

Кристаллизационная вода участвует в строении кристаллической решетки некоторых минералов в виде молекул воды в строго определенных количествах (например, в гипсе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в мирабиллите $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Эта вода, как и конституционная, выделяется из минералов при строго определенной для каждого минерала температуре (ниже 300°C) и сопровождается поглощением тепла, что и позволяет определять исследуемый минерал при помощи термического анализа. Выделение кристаллизационной воды обуславливает разрушение решетки минерала и её перестройку (например, гипс превращается в ангидрит).

Цеолитная вода — часть кристаллизационной воды, которая может выделяться и вновь поглощаться без разрушения кристаллической решетки, входит в состав кристаллических решеток некоторых минералов — *цеолитов*, представляющих собой водные алюмосиликаты.

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности кристаллизационных вод.
2. Назовите виды воды в грунтах.

Глава 4. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Под водными свойствами горных пород понимаются те, которые проявляются в них при взаимодействии с водой: влагоёмкость, водоотдача, водопроницаемость, капиллярные свойства, влажность, растворимость, набухание и усадка, размокание, пластичность и консистенция. Некоторые из этих свойств (растворимость, набухание и последующие) одновременно характеризуют и физико-механические свойства пород.

Влагоёмкость характеризует способность пород вмещать и удерживать определенное количество воды. От дисперсного состава рыхлых пород зависит их *влагоёмкость*. Различают *полную влагоёмкость*, когда вода заполняет все поры (включая и капиллярные) горной породы, и *максимальную молекулярную влагоёмкость*, показывающую количество воды, удерживаемой в породе силами молекулярного сцепления, после того как вся гравитационная вода стечёт из породы. *По степени влагоёмкости породы* подразделяются: на *весьма влагоёмкие* - торф, суглинки, глины; *влагоёмкие* - лёсс, мергель; *невлагоёмкие* - галечник, гравий, песок.

В зависимости от вида и количества воды в породах различают: гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную влагоёмкости.

Гигроскопическая влагоёмкость (W_H) определяет способность породы притягивать из воздуха парообразную влагу и соответствует количеству прочно связанной (гигроскопической) воды.

Максимально-молекулярная влагоёмкость ($W_{м.м.в.}$) соответствует максимальному количеству связанной воды в породе, удерживаемой силами молекулярного притяжения (по А. Ф. Лебедеву),

капиллярная (W_K) - максимальному количеству воды в капиллярных порах,

полная ($W_{н.в.}$) - максимальному количеству воды, удерживаемой породой при полном насыщении ее водой.

Водоотдача – это способность водонасыщенных горных пород отдавать гравитационную воду при возможности её свободного стекания. Разность между полной и максимальной молекулярной влагоёмкостью называют водоотдачей горной породы. Для практических целей важно знать удельную водоотдачу — количество свободной воды, которую можно получить из 1 м³ породы.

Водопроницаемость - способность горных пород пропускать (фильтровать) воду через поры и трещины, характеризуется коэффициентом фильтрации - скоростью движения подземных вод при гидравлическом градиенте, равном единице (см/сек, м/ч, м/сут). В формировании подземных вод, а также скорости их движения большое значение имеют степень и характер водопроницаемости пород. Водопроницаемость зависит от гранулометрического состава пород, размера пустот и трещин, свойств фильтрующей жидкости и других факторов. Чем больше зернистость и крупнее обломки слагающих породу частиц, тем более её проницаемость.

По степени водопроницаемости все горные породы подразделяются на три группы:

1) **водопроницаемые** (k_f более 1 м/сут) — пески, гравий, галечники, трещиноватые песчаники, конгломераты и другие скальные породы, трещиноватые и закарстованные известняки, доломиты;

2) **слабопроницаемые** (k_f от 1 до 0,001 м/сут) — супеси, легкие суглинки, лёсс, неразложившийся торф и др.;

3) **водоупорные** (k_f менее 0,001 м/сут) — глины, тяжелые суглинки, разложившийся торф, не трещиноватые массивные кристаллические и сцементированные осадочные породы.

В рыхлых породах (песок, гравий, галечник) водопроницаемость определяется размерностью зерен и характером их сложения. В этих породах вода движется по порам между отдельными зёрнами. Чем крупнее частицы, сла-

гающие породу, тем больше ее водопроницаемость (пример — грубообломочные породы: чистые галечники, крупный гравий со значительными по размерам порами между отдельными частицами породы).

При уменьшении размеров зерен уменьшаются размеры пор, следовательно, и их водопроницаемость. В природных условиях в большинстве случаев рыхлые обломочные горные породы сложены разнозернистым материалом — гравийно-галечным, песчано-гравийным, песками различной зернистости и др., что сказывается на степени водопроницаемости пород (рис. 2).

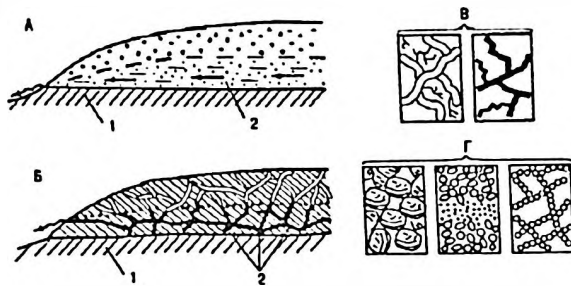


Рис. 2. А - пористые породы; Б - трещиноватые породы; В - размеры водопроводящих трещин; Г - размеры и плотность расположения зерен в пористых породах; 1 - водонепроницаемые породы; 2 - породы, насыщенные водой

Капиллярные свойства. Рыхлые горные породы имеют большое количество мелких пустот и канальцев, обладающих свойствами капилляров, которые разветвляются в разных направлениях, образуя тончайшую капиллярную сетку. Поднятие или опускание жидкости в капиллярах называется капиллярным явлением. Капиллярные явления объясняются действием сил поверхностного натяжения, проявляющихся между молекулами воды и стенками капилляра на границе раздела воды и воздуха, это обуславливает поднятие воды по капиллярным трубкам на ту или иную высоту.

Показатели капиллярного поднятия воды в породах используются:

1) для оценки возможности увлажнения нижней части фундаментов зданий, насыпей железных дорог и автострад, силосных ям и др. Это увлаж-

нение создает излишнюю сырость в помещениях, а также снижает прочность грунтов оснований фундаментов, дорожных насыпей и пр.;

2) для оценки возможности заболачивания территорий, а в засушливых районах - засоления грунтов;

3) для расчёта необходимой глубины понижения уровня грунтовых вод при строительстве инженерных сооружений, осушении заболоченных территорий и борьбе с засолением почв на орошаемых территориях.

Влажность - содержание в породах в условиях их естественного залегания воды, удаляемой высушиванием при температуре 105—107° С до постоянного веса образца породы. Выражается в процентах к весу сухой твердой части образца. В зоне аэрации и капиллярного насыщения влажность пород в течение года меняется в зависимости от сезонных изменений температуры, давления, влажности воздуха, осадков, испарения и других факторов.

Растворимость. Некоторые породы (известняки, доломиты, ангидрит, соли и т. п.) при соприкосновении с подземной водой могут полностью или частично растворяться ею. Растворяющей способностью подземная вода обладает только в том случае, если она не насыщена соответствующей солью. Например, подземные воды, насыщенные карбонатом кальция, не будут растворять известняки; насыщенные сульфатом кальция, не растворяют ангидрит и т. п. Растворяющая способность агрессивных подземных вод зависит также от скорости их движения в породе. Чем больше скорость движения воды, тем выше ее растворяющая способность.

Набухание и усадка. Глинистые породы при увлажнении увеличиваются в объеме, набухают, а при уменьшении влажности происходит уменьшение их объема, усадка. Причиной набухания является увеличение толщины гидратных оболочек физически связанной воды. Объем минеральных ча-

стичек в набухающем грунте остается неизменным, а увеличение объема обуславливается увеличением пор, полностью заполняемых водой. В результате влажность набухающих грунтов возрастает. Поскольку утолщающиеся около минеральных частичек гидратные оболочки снижают силы сцепления между частицами, то прочность набухающих грунтов значительно уменьшаются. Усадка обуславливается процессами, обратными набуханию, утончающиеся при уменьшении влажности гидратные оболочки не препятствуют проявлению сил сцепления между твердой фазой грунта, при этом происходит сближение частиц и объем грунта сокращается.

Количественно величина набухания выражается *давлением набухания*, *влажностью набухания* или *увеличением объема* образца породы. Усадка характеризуется уменьшением объема или длины высыхающего образца (объемная и линейная усадка) и влажностью на пределе усадки. Под влажностью предела усадки понимается та влажность, по достижении которой при дальнейшем высыхании образца (т. е. уменьшении его влажности), объем образца остается неизменным.

Размокание глинистых пород. Под размоканием понимается предельная степень набухания, когда порода распадается в воде на составные элементы, превращаясь в бесформенную массу, в густую суспензию. Основное значение в размокании имеет образование около минеральных грунтовых частичек предельно толстых гидратных оболочек, полностью устраняющих внутренние структурные связи, коагуляционные и нестойкие цементационные. Нарушение естественного сложения пород значительно способствует размоканию. Интенсивность размокания образцов глинистых пород в воде зависит от ряда факторов: от их состава, начальной влажности, наличия цементационных связей и их водостойкости, от степени выветрелости, нарушенности естественной структуры искусственными факторами. Степень размокаемости грунтов используется при оценке явлений переработки берегов водохрани-

лищ, устойчивости откосов канав, стенок котлованов и других земляных сооружений. По существу определение скорости размокания грунтов представляет собой испытание грунтов на устойчивость под водой.

Пластичность - способность глинистых пород изменять свою форму (деформироваться) под действием внешних сил без разрыва сплошности и сохранять полученную при деформации новую форму после прекращения действия внешних сил. Пластичные свойства глинистых грунтов зависят от влажности, степени дисперсности, минерального состава, состава катионов диффузного слоя (обменных катионов), концентрации порового раствора, состава катионов раствора и других факторов. Глинистые породы становятся пластичными только при некотором строго определенном содержании воды. В инженерно-геологической практике пластичность глинистых пород характеризуется *пределами пластичности*.

Нижний предел пластичности, или *предел раскатывания в проволоку*, W_p — влажность в процентах, при которой глина раскатывается в жгутики диаметром 3 мм; при этой влажности глинистая порода из твердого состояния переходит в пластичное.

Верхний предел пластичности, или *граница текучести*, W_T - влажность в процентах, при которой глинистые грунты из пластичного состояния переходят в текучее.

Число пластичности, или *индекс пластичности*, W_p - разность между влажностью верхнего и нижнего предела пластичности:

$$W_p = W_T - W_p$$

Число пластичности является классификационным показателем. По действующим СНиПам глинистые грунты в зависимости от числа пластичности подразделяются на следующие виды: супесь $1 < W_p < 7$, суглинок $7 < W_p < 17$, глина $W_p > 17$.

Консистенция грунтов. Из характеристики пределов пластичности следует, что состояние глинистых пород, а тем самым и их строительные свойства меняются в зависимости от степени увлажнения. Так, сухая глина при увлажнении из состояния твердого тела переходит сначала в пластичное, а затем в текучее. Такое изменение состояния глин при увлажнении называется изменением их консистенции. Под консистенцией понимается степень подвижности частиц грунта или сопротивляемость его внешним механическим воздействиям при различной влажности. Количественно консистенции характеризуется *показателем консистенции*.

По значениям коэффициента пористости, нижней предела пластичности и показателя консистенции для глинистых грунтов устанавливаются соответствующие расчётные характеристики.

Определенная указанным способом консистенция не отражает естественного состояния глинистых пород, так как значения пределов прочности определяются на образцах нарушенной структуры. В строительной практике известно много случаев, когда глинистые породы в естественном состоянии по показателю консистенции должны быть текучими, т. е. показатели их свойств должны быть равны нулю. В действительности же при испытании опытными штампами их несущие свойства равнялись нескольким килограммам на квадратный сантиметр. Это обуславливалось наличием в подобных грунтах водостойких цементационных структурных связей, которые разрушаются при определении пределов прочности.

Поэтому более точно консистенцию глинистых пород следует определять в их природном состоянии методом *микропенетрации*, т. е. путём определения глубины погружения конуса стандартной конструкции можно будет получать количественную характеристику консистенции грунтов естественного сложения.

Пластичные свойства глинистых пород обуславливаются наличием около минеральных тонкодисперсных и коллоидных частичек гидратных

оболочек физически связанной воды, которые ослабляют (экранируют) силы сцепления, но полностью их не устраняют. При действии внешней силы минеральные частицы, разделенные водными оболочками, свободно перемешаются в объеме горной породы, но силы сцепления при этом сохраняются. В результате порода, сохраняя сплошность, принимает новую форму и по прекращении действия внешней силы приданная форма сохраняется.

Контрольные вопросы

1. *Назовите водные свойства горных пород*
2. *Что такое предел пластичности?*

Глава 5. СВОЙСТВА, СОСТАВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Физические свойства подземных вод

При изучении подземных вод для различных целей определяют вкус, запах, цвет, прозрачность, температуру и другие физические свойства, которые характеризуют так называемые *органолептические* свойства воды, т. е. свойства, определяемые при помощи органов чувств. Подземные воды обычно прозрачны, бесцветны, не имеют запаха. Вкус подземной воды зависит от вида и содержания растворенных минеральных соединений и газов. Органолептические свойства могут резко ухудшаться при попадании в воду естественным или искусственным путем различных примесей (минеральных взвешенных частиц, органических веществ, некоторых химических элементов).

Температура подземной воды колеблется в широких пределах в зависимости от глубины залегания водоносного слоя, особенностей геологиче-

ского строения, климатических условий и т. д. Различают воды холодные — до $+20^{\circ}\text{C}$, теплые — от 20 до 37°C , горячие - от 37°C до 42°C и термы - свыше 42°C , перегретые - свыше 100°C . На участках действующих водозаборов в основном распространены холодные воды с температурой от 5 до 20°C .

С увеличением глубины залегания температура воды по закону геотермической ступени возрастает, достигая на глубине нескольких километров 100°C и более.

Согласно ГОСТ, к физическим свойствам подземных вод относятся также плотность, вязкость, электропроводность, радиоактивность и др.

Плотность воды - масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальна при температуре 4°C . При повышении температуры до 250°C плотность воды уменьшается до $0,799 \text{ г/см}^3$, а при увеличении количества растворенных в ней солей повышается до $1,400 \text{ г/см}^3$. За счет пониженной плотности возможно конвективное, восходящее движение перегретых подземных вод.

Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц ее движению. С повышением температуры вязкость подземных вод уменьшается.

Электропроводность подземных вод зависит от количества растворенных в них солей и выражается величинами удельных сопротивлений от 0,02 до $1,00 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Радиоактивность подземных вод вызвана присутствием в ней радиоактивных элементов (урана, стронция, цезия, радия, газообразной эманации радия — радона и др.). Даже ничтожно малые концентрации - сотые и тысячные доли (мг/л) некоторых радиоактивных элементов - могут быть вредными для человека.

5.2. Химический состав подземных вод

Подземная вода представляет собой сложный водный раствор, содержащий растворенные соли, газы, органические вещества и коллоиды. Количественные соотношения между отдельными компонентами обуславливают физические свойства и химический состав подземных вод.

Ионно-солевой состав. Подземная вода не встречается в химически чистом виде. В ней обнаружено более 60 элементов периодической системы Менделеева. Основные компоненты (ионы), определяющие химический тип воды, - Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и K^+ . Эти ионы составляют более 90% всех растворенных в воде солей. Железо, нитриты, нитраты, водород, бром, йод, фтор, бор, радиоактивные и другие элементы содержатся в воде в меньших количествах. Однако даже в небольших количествах они могут оказывать существенное влияние на оценку пригодности подземных вод для различных целей.

Суммарное содержание растворенных в воде минеральных веществ называют *общей минерализацией*. О ее величине судят по *сухому* или *плотному остатку* (в мг/л или г/л), который получается после выпаривания определенного объема воды при температуре 105—110°C.

Для количественного выражения активной реакции подземных вод (pH) служит логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е. $\text{pH} = -\lg(\text{H}^+)$. Вода с нейтральной реакцией имеет $\text{pH} = 7$, кислой $\text{pH} < 7$, щелочной $\text{pH} > 7$. Малые значения pH вызывают коррозию труб и ухудшают питьевые качества воды. Наилучшими питьевыми качествами вода обладает при $\text{pH} = 6,5-8,5$.

Свойство воды, обусловленное содержанием в ней ионов кальция и магния, называют *жесткостью*. Различают несколько видов жесткости.

Общая жесткость определяется суммарным содержанием в воде всех ионов кальция и магния.

Карбонатная жесткость (устраиваемая при кипячении воды) — обусловлена содержанием в воде только гидрокарбонатных и карбонатных солей кальция и магния.

Кроме того, выделяют *постоянную (неустраиваемую) жесткость*, определяемую вычитанием из общей жесткости карбонатной (устраиваемой).

Газы в подземных водах. Газы содержатся в подземных водах в растворенном виде. Наиболее распространены в подземных водах кислород (O_2), углекислота (CO_2), сероводород (H_2S), азот (N_2), метан (CH_4), благородные газы (гелий, аргон, радон и др.).

Газы заметно влияют на органолептические показатели подземных вод. Насыщенность воды свободной углекислотой придает ей способность разрушать бетон.

Органические соединения и коллоиды. В подземной воде почти всегда содержатся органические вещества и микроорганизмы. Некоторые их виды представляют серьезную опасность для питьевой воды.

В подземной воде могут также находиться коллоиды — твердые минеральные частицы, недиссоциированные SiO_2 , Fe_2O_3 и т.д., находящиеся во взвешенном состоянии.

5.3 Оценка качества подземных вод

Оценка качества питьевых вод. Качество подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, оценивается по органолептическим и радиационным показателям, химическому составу и бактериальному загрязнению. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения, источником которого являются подземные воды, определяются Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1175—02.

По органолептическим показателям *питьевая вода* должна быть прозрачна, бесцветна, не иметь неприятного запаха и вкуса. Величина сухого

остатка не должна превосходить 1 г/л, общая жесткость — 7,0 мг-экв/л, содержание железа - 0,3 мг/л. Содержание отдельных растворенных веществ не должно превышать предельных значений, допустимых нормами.

В исключительных случаях могут быть использованы подземные воды с сухим остатком до 1,5 г/л, общей жесткостью до 10 мг-экв/л, содержанием железа до 1 мг/л, но только по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы. В питьевой воде совершенно недопустима патогенная флора, т. е. болезнетворные микробы. В целом, согласно Санитарным правилам, питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические показатели.

Оценка качества технической воды. Оценка качества подземных вод для технических целей зависит от характера того или иного производства. Для разных производств нужны воды различного качества.

Каждое производство предъявляет свои требования к воде, с учётом которых и дается оценка пригодности воды. Обычно вода для промышленных целей должна быть прозрачной, бесцветной, без запаха и по возможности мягкой.

5.4. Агрессивность подземных вод к строительным конструкциям

Воды определенного химического состава могут оказывать разрушающее действие на бетонные и металлические конструкции, фильтры скважин, обсадные трубы, насосы и т. д. Подземная вода, разрушающая бетон и металл, считается *агрессивной*.

Агрессивное действие вод на бетон проявляется в растворении его основного компонента - карбоната кальция, а также в образовании солей $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и сульфата алюмината кальция («цементная бацилла»), вызывающего вспучивание и крошение бетона.

Степень агрессивного воздействия подземных вод на арматуру железобетонных конструкций оценивается по суммарному содержанию в них сульфатов и хлоридов.

Количественные критерии оценки вида и степени агрессивности подземных вод к бетону и железобетону приводятся в СНиП 2.03.11 - 85 «Защита строительных конструкций от коррозии».

По степени воздействия на строительные конструкции подземные воды, согласно данному СНиПу разделяются на *неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные и сильноагрессивные*. В нормах помимо химического состава воды учитывается также коэффициент фильтрации пород, толщина конструкций и марка бетона по водонепроницаемости.

Агрессивность подземных вод определяется сопоставлением данных химического анализа воды с требованиями СНиП 2.03.11- 85.

Меры борьбы с агрессивностью подземных вод могут быть различными: применение сульфатостойких цементов, гидроизоляция подземных частей сооружения, дренаж и др.

Агрессивное действие вод на металлы (*коррозия металлов*). Подземная вода с растворенными в ней солями и газами может обладать интенсивной коррозией по отношению к железу и другим металлам. Примером может служить окисление (разъедание) металлических поверхностей с образованием ржавчины под действием кислорода, растворенного в воде.

Подземные воды обладают коррозионными свойствами при содержании в них также агрессивной углекислоты, минеральных и органических кислот, солей тяжелых металлов, сероводорода, хлористых и некоторых других солей. Мягкая вода (с величиной общей жесткости менее 3,0 мг-экв/л) действует значительно агрессивнее, чем жесткая. Наибольшему разъеданию могут подвергаться металлические конструкции под влиянием сильно кислых ($\text{pH} < 4,5$) и сильно щелочных вод ($\text{pH} > 9,0$). Коррозии способствует по-

вышение температуры подземной воды, увеличение скорости ее движения, электрические токи.

Агрессивность воды по отношению к бетону и железу. Обычно агрессивна по отношению к бетону вода, содержащая сульфаты сверх допустимого количества и агрессивную уголекислоту. Соответственно различают сульфатную и уголекислую агрессивность воды. Кроме того, агрессивность может быть выщелачивающая, общекислотная, магнизальная и кислородная.

Сульфатная агрессивность. При наличии в воде повышенного количества сульфатов (SO_4) происходит кристаллизация в бетоне новых соединений: образуются гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с увеличением объема на 100% и сульфоалюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, что и приводит к разрушению бетона.

При уголекислой агрессии происходит растворение и выщелачивание из бетона составных частей, в той или иной мере растворимых в воде (главным образом извести CaCO_3 , составляющей основную часть цемента).

Агрессивность выщелачивания происходит за счёт растворения и вымывания из бетона извести при малом содержании в воде HCO_3^- . При небольшой временной жёсткости в воде содержится настолько мало HCO_3^- , что уже при содержании свободного CO_2 , равновесного с атмосферой (0,6 мг/л), часть его будет агрессивной, разрушающе действующей на бетон.

Общекислотная агрессивность обусловлена низким значением водородного показателя pH (менее 7 при временной жесткости менее 24° и менее 6-7 при временной жесткости более 24°), вследствие чего усиливается растворение извести.

Магнизальная агрессивность, как и сульфатная, ведет к разрушению бетона при проникновении в тело бетона воды с повышенным содержанием Mg^{2+} .

Кислородная агрессивность обуславливается наличием в воде кислорода и проявляется преимущественно по отношению к металлическим предметам (трубам, насосам, рельсам и т. п.), вызывая их коррозию.

5.5. Использование подземных вод

Подземные воды по использованию подразделяются на хозяйственно-питьевые, технические, промышленные, минеральные, термальные.

Хозяйственно-питьевые воды. Подземные воды широко используются для хозяйственно-питьевых целей. Пресные подземные воды - лучший источник питьевого водоснабжения, поэтому использование их для других целей, как правило, не допускается.

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются подземные воды зоны интенсивного водообмена. Глубина залегания пресных подземных вод от поверхности земли обычно не превышает нескольких десятков метров. Однако имеются районы, где они залегают на больших глубинах (300-500 м и более).

Технические воды - это воды, которые используют в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Требования к подземным техническим водам отражают специфику того или иного вида производства. В отличие от питьевых качество технических вод оценивается, прежде всего, по величине жесткости.

Промышленные воды содержат в растворе полезные элементы (бром, йод и др.) в количестве, имеющем промышленное значение. Обычно они залегают в зоне весьма замедленного водообмена, минерализация их высокая (от 20 до 500-600 г/л), состав хлоридно-натриевый, температура до 60-80°C.

Минеральными называют подземные воды, которые имеют повышенное содержание биологически активных микрокомпонентов, газов, радиоактивных элементов и т. д. Минеральные воды выходят на поверхность земли

естественным путем, т. е. в виде источников, или вскрываются с помощью буровых скважин.

Термальные воды имеют температуру более 37°C. Термальные подземные воды залегают повсеместно на глубинах от нескольких десятков и сотен метров (в горно-складчатых районах) до нескольких километров (на платформах).

По трещинам термальные воды часто выходят на поверхность земли, образуя горячие источники с температурой до 100°C (Камчатка, Кавказ). Разновидностью горячих источников являются гейзеры, выбрасывающие струю пара и воды на высоту до нескольких десятков метров.

Общие запасы термальных вод в нашей стране оцениваются миллионами кубометров. Термальные воды уже используются, для теплофикации некоторых городов и сельскохозяйственных объектов, а также для энергетических целей (Паужетская геотермальная станция на Камчатке).

Контрольные вопросы

1. *Что такое минерализация подземных вод?*
2. *Зачем необходимо изучать химический состав подземных вод?*
3. *Какие свойства подземных вод учитываются при их оценке?*
4. *Что такое агрессивность подземных вод?*
5. *Какие воды используются для хозяйственно-питьевых целей?*

Глава 6. ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По условиям залегания подземные воды верхней зоны земной коры подразделяются на три типа: верховодка, грунтовые воды и межпластовые воды (рис.3).

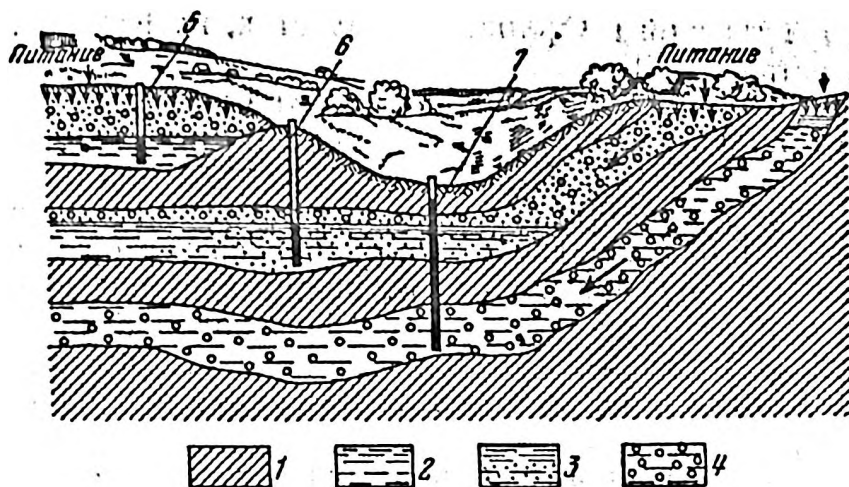


Рис. 3. Схема залегания подземных вод: 1- водоупорные породы; 2 - грунтовые воды; 3 - межпластовый безнапорный водоносный горизонт; 4 — артезианский напорный водоносный горизонт; 5 - колодец, питающийся грунтовой водой; 6 - колодец, питающийся межпластовой водой; 7 - артезианская скважина

Верхняя часть земной коры в зависимости от степени насыщения водой пор горных пород делится на две зоны: верхнюю - зона аэрации и нижнюю - зона насыщения (рис. 4).

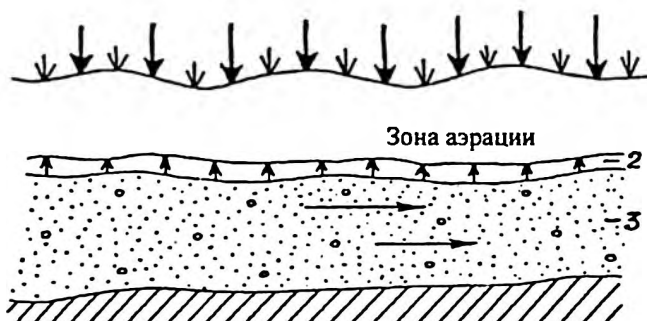


Рис. 4. Распределение подземных вод в верхней части земной коры: 1 — зона аэрации; 2- зона капиллярной воды; 3 — зона полного насыщения (грунтовый поток)

Зона аэрации расположена между поверхностью земли и уровнем грунтовых вод. В этой зоне, непосредственно связанной с атмосферой и почвенным покровом, наблюдается просачивание атмосферных осадков и поверхностных вод вглубь, в сторону зоны насыщения. Поры горных пород в

зоне аэрации лишь частично заполнены водой, остальная часть их занята воздухом. Зона аэрации играет важную роль в формировании подземных вод. Мощность зоны аэрации колеблется от нуля, в заболоченных низинах, до нескольких сотен метров в горных районах с сильно расчленённым рельефом.

Подземные воды зоны аэрации это: 1) почвенные воды, 2) инфильтрующие воды, 3) верховодка.

Непосредственно над поверхностью подземных вод располагается зона повышенной влажности – *зона капиллярной воды*. Её мощность зависит от состава и структуры горных пород.

Зона полного насыщения горных пород расположена ниже уровня грунтовых вод. В этой зоне все поры, трещины, каверны и другие пустоты заполнены гравитационной водой.

Подземные воды в зоне насыщения циркулируют в виде грунтовых, артезианских, трещинных и других вод.

Мощность зоны насыщения, так же как и зоны аэрации, изменяется соответственно изменению уровня грунтовых вод.

6.1. Верховодка

Верховодка формируется в пределах зоны аэрации на сравнительно небольшой глубине от поверхности земли в результате инфильтрации атмосферных осадков. По существу, это временное скопление воды на отдельных линзах водонепроницаемых пород среди водопроницаемых в супесях и лёссах. Ложем могут быть линзы моренных суглинков среди песчаных водно-ледниковых отложений или глин среди речных водопроницаемых песчаных образований и др. Такие скопления воды распространены, как правило, ограничено.

В легко водопроницаемых невлагоёмких породах (пески, галечники, трещиноватые породы) верховодка возникает сравнительно редко, так же как

и в сильновлажеёмких набухающих глинах. Наиболее типичны для неё различные суглинки и лёссовые породы.

Другой особенностью верховодки является возможность её образования даже при отсутствии в зоне аэрации каких-либо водоупорных пропластков. Например, в толщу суглинков обильно поступает вода, но вследствие низкой водопроницаемости просачивание происходит замедленно и в верхней части толщи образуется верховодка. Через некоторое время эта вода высасывается.

На склонах верховодка практически отсутствует. Чаще всего она наблюдается на водораздельных равнинных участках, особенно в понижениях микрорельефа (степные блюдца, западины и т. п.), задерживающих талые снеговые и дождевые осадки.

По величине минерализации воды верховодки от пресных (в северных районах страны) до солоноватых и солёных (в засушливых районах, с интенсивным испарением). Близость верховодки к поверхности земли часто приводит к её загрязнению органическими соединениями. Водообильность незначительная, поэтому использование верховодки для водоснабжения ограничено: неглубокие колодцы в сельской местности, сезонное водоснабжение мелких предприятий. Для постоянного водоснабжения верховодка непригодна.

Мощность водонасыщенных слоёв верховодки колеблется обычно от 0,5 до 2 - 3 м, редко больше. Это зависит от размера водоупорных линз и количества атмосферных осадков. Для верховодки характерны: временный сезонный характер, небольшая площадь распространения, малая мощность и безнапорность. Верховодка представляет значительную опасность для строительства. Залегая в пределах подземных частей зданий и сооружений, она может вызвать их подтопление, если заранее не были предусмотрены меры дренирования или гидроизоляции. Качество воды низкое, высыхает в засуху.

6.2. Грунтовые воды

Грунтовые воды имеют широкое распространение. Они приурочены к первому от поверхности водонепроницаемому слою, расположенному на первом от поверхности водонепроницаемом слое. Область питания их совпадает с областью распространения водопроницаемых пород. Они могут накапливаться как в рыхлых пористых породах, так и в трещиноватых и закарстованных горных породах. В грунтовых водах следует различать верхнюю поверхность (уровень), или зеркало, грунтовых вод и водоупорное ложе (рис. 5).

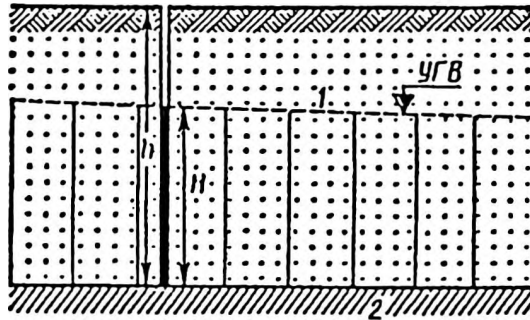


Рис. 5. Элементы грунтовой воды: h – мощность водопроницаемых пород; H – мощность водоносного горизонта; 1 – уровень грунтовой воды; 2 – водоупорное ложе

Порода, насыщенная водой, называется водоносным горизонтом, или слоем. Мощность водоносного горизонта определяется расстоянием от зеркала (уровня) грунтовых вод до водоупорного ложа. Она изменяется:

- 1) по мере движения воды к областям разгрузки;
- 2) в зависимости от неровностей рельефа водоупорного ложа;
- 3) вследствие неодинаковой интенсивности питания атмосферными осадками в различные годы.

Грунтовые воды в силу наличия свободной поверхности – ненапорные. Иногда при вскрытии грунтовых вод скважинами и другими выработками наблюдается местный (обычно небольшой) напор. Возникает он при проход-

ке скважинами прослоев водоупорных пород, залегающих в толще водоносного слоя.

Питание грунтовых вод происходит за счёт инфильтрации (просачивания) атмосферных осадков и конденсации водяных паров, а также поступления воды из поверхностных водоемов (рек, озер и т. д.). Значительно реже грунтовые воды подпитываются со стороны глубокозалегающих напорных вод. Территория, на которой происходит питание водоносного горизонта, называется *областью питания*. Для грунтовых вод характерно совпадение областей питания и распространения.

Грунтовые воды находятся в непрерывном движении, образуя *грунтовые потоки*. В отдельных случаях их залегание имеет форму *грунтовых бассейнов*. Грунтовые воды в бассейнах остаются неподвижными и имеют горизонтальную поверхность. В противоположность им грунтовые потоки имеют соответствующие уклоны своей поверхности. Уклон поверхности грунтового потока обычно соответствует уклону рельефа поверхности земли и направлен в сторону ближайшего понижения. Грунтовые воды движутся от водоразделов к речным долинам, оврагам, балкам и т. п. В местах выхода грунтовых вод на поверхность образуются родники, мочажины, заболоченность. Это места естественной разгрузки (дренирования) грунтовых вод.

Грунтовые воды имеют почти повсеместное распространение. Глубина залегания грунтовых вод, химический состав и температура зависят от многих факторов: геологического строения района, рельефа местности, климатических условий. В целом зеркало грунтовых вод отражает рельеф земной поверхности. Наибольшая глубина залегания грунтовых вод отмечается на водоразделах, наименьшая - в понижениях рельефа.

Обычно грунтовые воды залегают на небольшой глубине - от 2 до 10 м. По степени минерализации воды преимущественно пресные, реже солоноватые и солёные, состав гидрокарбонатно-кальциевый, сульфатный и сульфатно-хлоридный.

Грунтовые воды широко используют для водоснабжения во многих районах России.

Карты поверхности грунтовых вод (карты гидроизогипс). Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляют карты гидроизогипс (рис. 6). *Гидроизогипсами* называют линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод.

Форма поверхности грунтовых вод сложная и зависит от многих факторов: состава водовмещающих пород и их водопроницаемости, рельефа, условий залегания и дренирования.

Карты гидроизогипс необходимы при решении многих задач, связанных с проектированием водозаборов подземных вод, борьбой с подтоплением территории и др. Для построения карты гидроизогипс измеряют уровни грунтовых вод в скважинах, расположенных обычно по сетке. Замеры уровней воды должны быть единовременными. Абсолютные отметки уровня подземных вод (h_a) в скважинах определяют по формуле:

$$h_a = h_{п.з} - h,$$

где $h_{п.з}$ - абсолютная отметка поверхности земли; h - глубина залегания подземных вод от поверхности земли, м.

Полученные абсолютные отметки надписывают над каждой скважиной и затем методом интерполяции строят гидроизогипсы. Сечение гидроизогипс (частоту их заложения) выбирают в зависимости от масштаба карты и густоты расположения точек замера от 0,5 до 10,0 м, чаще 0,5; 1,0 и 2,0 м.

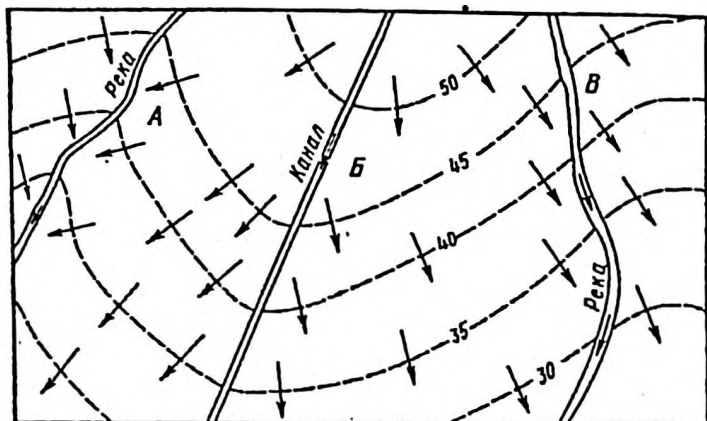


Рис. 6. Карта гидроизогипс: участок А - грунтовые воды питают реку; В - канал питает грунтовые воды; В - грунтовые воды питают реку и выходят из нее

С помощью карты гидроизогипс (совмещенной с топоосновой) можно определить направление и скорость движения грунтового потока в любой точке. Для определения направления проводят перпендикуляр к гидроизогипсе в данной точке. Грунтовый поток движется по нормали в сторону меньших отметок. Для определения уклона потока грунтовых вод разность отметок двух смежных гидроизогипс делят на расстояние между ними (по нормали) в соответствии с масштабом карты. Чем выше степень сгущения гидроизогипс, тем при прочих равных условиях больше уклон поверхности потока подземных вод, следовательно, выше и скорость движения. Используя положение гидроизогипс, в любой точке карты можно определить глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей и гидроизогипс).

6.3. Межпластовые подземные воды

Межпластовыми водами называют водоносные горизонты, залегающие между двумя водоупорными слоями. В зависимости от условий залегания они могут иметь свободную поверхность или обладать напором.

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Уровень этих вод располагается ниже кровли первого водоупора, т. е. водопроницаемый слой не имеет полного заполнения. По условиям передвижения и характеру напоров эти воды аналогичны грунтовым водам. Однако область питания межпластовых вод не совпадает с областью их распространения. Питание вод происходит на участках выхода водоносного пласта на дневную поверхность или путём фильтрации из рек и других поверхностных водотоков и водоемов.

Межпластовыми напорными или артезианскими называют воды, залегающие между двумя водоупорными слоями и обладающие гидростатическим напором. В отличие от межпластовых ненапорных вод артезианские воды полностью насыщают водопроницаемый слой от подошвы до кровли. При вскрытии напорного водоносного пласта скважинами вода поднимается выше его водоупорной кровли, а при сильном напоре и низких абсолютных отметках земной поверхности может самоизливаться на поверхность (рис. 7) с высотой фонтанирования до нескольких десятков метров.

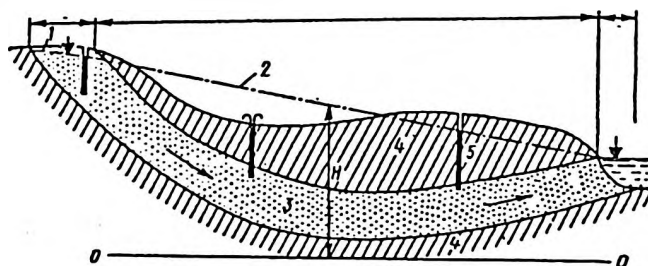


Рис. 7. Артезианский бассейн. Области: *а* - питания напорных вод; *б* - напора; *в* - разгрузки; *1* - уровень грунтовых вод; *2* - пьезометрический уровень напорных вод; *3* - водоносный напорный пласт; *4* - водоупоры; *5* - скважины; *H* - величина пьезометрического напора

Особенности артезианских вод. Артезианскими считаются подземные воды, находящиеся в водоносных горизонтах (комплексах), перекрытых и подстилаемых водоупорными или относительно водоупорными пластами, и обладающие гидростатическим напором, который обуславливает подъём уровня воды над кровлей при вскрытии скважинами или другого вида выра-

ботками. Обычно к ним относят подземные воды в пластах осадочных толщ, хотя, они могут встречаться и в трещиноватых толщах кристаллических пород.

При благоприятных геолого-структурных и гидрогеологических условиях скважины дают фонтанирующую воду. Одно время к артезианским относили подземные воды и водоносные горизонты, в которых вода находится под избыточным давлением и при их вскрытии скважинами изливается на поверхность. Однако не везде и далеко не всегда водоносный горизонт с артезианскими водами, как считалось вначале, дает самоизливающуюся воду: этого не происходит, когда напорный уровень находится ниже поверхности Земли. Характер их залегания более разнообразен и сложен (моноклиальные склоны, обводненные зоны трещиноватости и т. д.). Эти воды находятся в породах дочетвертичного возраста, хотя встречаются и в четвертичных отложениях.

Для артезианских вод характерны следующие особенности:

- 1) это межпластовые напорные воды, горизонты и комплексы которых изолированы сверху и снизу водоупорами;
- 2) область питания и создания напора артезианских вод и область их распространения не совпадают и часто удалены одна от другой на большие расстояния;
- 3) при вскрытии артезианского водоносного горизонта появление воды в скважинах всегда отмечается глубже по сравнению с установившимся уровнем; часто уровень устанавливается выше поверхности Земли, и тогда скважина фонтанирует;
- 4) режим артезианских вод более стабилен по сравнению с режимом грунтовых вод: на него поверхностные факторы оказывают гораздо меньшее влияние;
- 5) в верхней части разреза артезианские воды пресные, с глубиной их минерализация возрастает и они становятся солёными и даже рассолами.

Артезианские воды обычно залегают на большой глубине и приурочены к синклинальным (прогнутым) геологическим структурам. При синклинальном залегании пластов создаются наиболее благоприятные условия для образования гидростатического напора. Напорные воды встречаются и при моноклиальном (однослоновом) залегании водоносных пластов, если последние резко изменяют свою водопроницаемость или выклиниваются. Они могут быть приурочены также и к зонам тектонических нарушений и разломов.

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие значительные площади (до нескольких сотен тысяч квадратных километров), называют *артезианскими бассейнами*. При моноклиальном залегании слоев образуется *артезианский склон*.

Карты пьезометрической поверхности напорных вод (карты гидроизопьез). Линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называют *гидроизопьезами* (или *пьезогипсами*). Карта гидроизопьез — совокупность таких линий и строится она методом интерполяции отметок, т. е. аналогично карте гидроизогипс. Если напорных водоносных горизонтов несколько, для каждого из них на карте наносится своя система гидроизопьез.

С помощью карты гидроизопьез решают ряд практических задач, связанных с использованием артезианских вод для водоснабжения, с организацией защиты от них при вскрытии строительными котлованами кровли напорного пласта и т. д. По карте гидроизопьез изучают условия формирования потоков артезианских вод, определяют направление их движения (по нормали к гидроизопьезам в сторону меньших отметок), выделяют участки возможного самоизлива (при совмещении гидроизопьез с горизонталями), устанавливают гидравлическую связь напорных вод с реками и пр.

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее перспективным считается самый верхний напорный горизонт, где обычно залегают слабоминерализованные (пресные) воды.

Артезианские воды практически не загрязнены и, как правило, обладают значительной водообильностью. К недостаткам следует отнести необходимость в ряде случаев проходки очень глубоких скважин для вскрытия напорного водоносного горизонта.

6.4. Подземные воды районов многолетней мерзлоты

Многолетняя мерзлота - толща горных пород в земной коре с отрицательной температурой, устойчивой в течение длительного времени независимо от физического состояния воды, заключенной в горных породах.

Изучение многолетней мерзлоты и условий строительства в районах её распространения имеет большое народнохозяйственное значение. Здесь выявлены многочисленные месторождения самых разнообразных полезных ископаемых, что вызвало рост в этих районах горнодобывающей промышленности и развитие других отраслей и связанных с ними жилищного и дорожного строительства.

Природные условия районов распространения многолетней мерзлоты определяют специальные требования к проектированию, строительству и эксплуатации сооружений, несоблюдение которых приводит к деформации сооружений или их разрушению.

Происхождение вечной мерзлоты обусловлено, по мнению большинства исследователей, тем, что в течение года земная кора теряет тепла больше, чем в неё поступает, и зимнее промерзание превышает летнее оттаивание.

Мощность многолетнемерзлой толщ пород зависит от многих факторов: от температурного режима атмосферы, почвы и литосферы; от характера рельефа, растительности; от толщи снежного покрова; от наличия поверх-

ностных водоёмов и водостоков; от циркуляции подземных вод; от геохимических процессов, протекающих в литосфере; от производственной деятельности человека.

Многолетнемерзлые породы нельзя рассматривать как сплошной экран, отделяющий поверхностные воды от подземных; распространение их прерывистое. Степень прерывистости зависит от многих природных факторов: климатических, геологических, гидрогеологических, орографических, тектонических и др. Степень прерывистости многолетней мерзлоты увеличивается в направлении с севера на юг, и постепенно многолетнемерзлые породы переходят в талые.

Верхний слой земной коры в районах распространения вечной мерзлоты в весенне-летний период оттаивает, а осенью и зимой замерзает. Если этот слой при промерзании зимой не сливается с толщей вечномерзлого грунта, то его называют *сезоннопромерзающим*, а если *сливается* - *сезоннооттаивающим*, или *деятельным, слоем*. Мощность деятельного слоя в разных местах колеблется от долей метра до 6-8 м. В тонкодисперсных грунтах - суглинках и глинах - глубина сезонного промерзания и оттаивания редко превышает 2—3 м.

Опыт строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов свидетельствует, что недоучёт режима деятельного слоя приводит к самым печальным последствиям: дороги, аэродромы, здания и другие сооружения деформируются и даже разрушаются. Поэтому установление мощности деятельного слоя и его температурного режима имеет существенное значение и является одной из основных задач при проведении инженерных изысканий.

Обычно мерзлые грунты оснований под влиянием теплоотдачи от сооружений оттаивают, нередко на значительную глубину, а оттаявшие грунты становятся более или менее просадочными. В зависимости от скорости процесса оттаивания сооружения претерпевают деформации, нередко значительные. Следовательно, конструктивные решения при проектировании и строи-

тельстве сооружений, выполненные без учёта их деформативно-напряженного состояния и условий совместной работы с оттаивающими просадочными грунтами, приводят к преждевременному разрушению капитальных зданий, строящихся на таких грунтах

Нередко зимнее промерзание по глубине не достигает вечномерзлой толщи пород. Деятельный слой, образовавшийся за период летнего оттаивания, не смыкается с вечномерзлыми породами. Это *несливающаяся мерзлота*. Иногда наблюдается чередование талых и вечномерзлых прослоев грунта на значительную глубину. Подобное залегание называется *слоистой*, или *прерывистой, мерзлотой*. Это обуславливается наличием крупнозернистых и трещиноватых пород, по которым подземные воды циркулируют с большой скоростью, что и предохраняет их от промерзания.

Подземные воды многолетней мерзлоты, по И. И. Толстихину, подразделяются на три категории: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды залегающие над зоной мерзлых пород, в свою очередь подразделяются на *воды деятельного слоя* и *воды многолетних надмерзлотных таликов*.

Надмерзлотные воды деятельного слоя залегают на толще многолетней мерзлоты, которая является для них водоупорным ложем. Характерная особенность этих вод — сезонная смена жидкой и твердой фаз. Питание вод деятельного слоя происходит за счет атмосферных осадков и частично за счет поверхностных водотоков.

В химическом отношении *надмерзлотные* воды сезонного слоя характеризуются малой минерализацией, значительным содержанием органических веществ и наличием гумусовых кислот. Температура их низкая и редко превышает 5° С. По величине минерализации воды пресные и летом могут использоваться для водоснабжения, однако количество (запасы) их незначительно, а санитарно-техническое состояние не всегда удовлетворительно.

Надмерзлотные воды многолетних таликов существуют благодаря тепловому влиянию поверхностных вод. Надмерзлотные воды в зоне таликов под влиянием переноса тепла реками и озерами зимой обычно не промерзают, и имеют постоянный сток. Залегают подобные талики под озерами и руслами рек. По долинам рек Сибири, несущим тепло, имеются сквозные талики, через которые осуществляется связь надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных вод. Отличаются эти воды постоянством качества и количества. Минерализация их невысокая, жесткость 0,8-1,2 мг-экв; они широко распространены в бассейнах рек Лены и Колымы. Дебит каптажных сооружений (скважин, галерей) нередко достигает 47 л/сек. Используются данные воды на питьевое и хозяйственно-техническое водоснабжение.

Межмерзлотные воды. К межмерзлотным водам относят как жидкие воды, циркулирующие в массиве вечномёрзлых пород, так и твёрдую фазу-ископаемые льды и временно законсервированные многолетней мерзлотой мёрзлые водоносные горизонты, некогда функционировавшие. Основным фактором, предохраняющим жидкие межмерзлотные воды от замерзания, являются их динамичность, а иногда также высокая минерализация. По характеру вмещающих горных пород выделяются пластовые, карстовые и трещинно-жильные межмерзлотные воды.

Межмерзлотные воды в жидкой фазе обычно напорны. Распространены они не повсеместно и залегают в пределах таликов преимущественно в долинах рек. Постоянная циркуляция, отчасти высокая минерализация, предохраняет их от замерзания. Запасы межмерзлотных вод непостоянны и к концу зимы значительно сокращаются.

При проходке горных выработок в случае пересечения межмерзлотных вод притоки с течением времени могут увеличиваться, что обусловливается увеличением водоносных путей вследствие оттаивания льда в трещинах, мерзлых водоносных горизонтов и т. п.

Подмерзлотные воды. Подмерзлотными водами называются все подземные воды, залегающие ниже слоя многолетней мерзлоты. Эти воды обладают напором, нередко в несколько сотен метров. По характеру залегания и условиям циркуляции подмерзлотные воды аналогичны подземным водам внемерзлотных районов. Условия же питания и стока подмерзлотных вод иные. Минерализация вод от пресных до рассолов.

По гидрогеологическим условиям среди подмерзлотных вод выделяются следующие типы: аллювиальные, порово-пластовые, трещинно-пластовые, трещинные, или жильные, и трещинно-карстовые.

Аллювиальные подмерзлотные воды питаются за счёт просачивания атмосферных вод по таликам в аллювии, подтока подземных вод из коренных пород и за счёт конденсации, имеют температуру, близкую к нулю. Лишь в тех случаях, когда в питании аллювиальных вод принимают участие воды коренных пород с более высокой температурой, подмерзлотные воды аллювия имеют аномально высокую температуру.

Химический состав подмерзлотных вод аллювия характеризуется меньшим содержанием органических веществ.

Порово-пластовые подмерзлотные воды залегают в осадочных породах и обладают напором.

Трещинно-пластовые подмерзлотные воды характерны для пород древнего возраста (палеозой - юра). Циркулируют они по трещинам в пластах песчаников, известняков, конгломератов и других пород, перекрываемых водоупорами. Породы глинистого состава являются водоупорными и разделяют подземные воды на ряд водоносных горизонтов. Воды обладают напором от десятков до сотен метров.

Трещинные и трещинно-карстовые подмерзлотные воды связаны с тектоническими нарушениями. Известняки на площади распространения многолетней мерзлоты являются наиболее водообильными породами, с ними связаны выходы крупных источников, где образуются мощные наледи.

Воды сквозных таликов. К сквозным относятся такие талики или таликовые зоны, которые образуют проводящий канал для гравитационных вод, захватывающий либо значительную часть промороженной вне талика толщи пород, либо всю эту толщу на ограниченном по площади участке. Эти резервуары ограничены мёрзлыми породами по боковым плоскостям (в отличие от межмерзлотных вод, ограниченных сверху и снизу) и практически для территорий развития многолетнемёрзлых пород выполняют роль, аналогичную зонам тектонических разломов.

Движение воды в таких таликах может быть как *восходящим*, так и *нисходящим*. Сквозные талики могут быть *поглощающими* и *выводящими*, связывающими надмерзлотные воды только межмерзлотными или только с подмерзлотными, либо захватывающими всю систему вод мерзлотно-гидрогеологического разреза.

Источники в зоне многолетней мерзлоты. Для районов распространения многолетней мерзлоты характерны специфические условия выходов подземных вод на поверхность. Источники разделяются на *нисходящие* и *восходящие*. Нисходящие источники образуются за счёт надмерзлотных вод, расположенных выше местного базиса эрозии.

По режиму источники надмерзлотных вод разделяются на сезонные и постоянные. Дебит тех и других источников непостоянен.

Восходящие источники образуются за счёт выходов подмерзлотных вод. Геологические условия выходов подмерзлотных вод весьма разнообразны. Режим источников осложняется мерзлотными факторами - оттаиванием и замерзанием путей движения воды, что обуславливает разделение восходящих источников на следующие виды: *периодически исчезающие, мигрирующие, сменные сезонные, непостоянные по дебиту к постоянным*.

Режим восходящих источников, зависящий от замерзания и оттаивания путей движения воды, не отражает истинного состояния водоносного горизонта, питающего эти источники. Высокодебитные восходящие источники

образуются в местах выходов на поверхность трещинно-карстовых подмерзлотных вод.

Явления, связанные с многолетней мерзлотой. В области распространения мерзлоты наблюдаются наледы, гидролакколиты, термокарст, солифлюкция и пучение.

Наледь — ледяное тело, образовавшееся на поверхности земли или на льду реки в результате замерзания подземной или речной воды, излившейся на поверхность земли или ледяного покрова реки. Различают *грунтовые, или наземные, наледы, речные и смешанные.*

Грунтовые наледы образуются при замерзании выходящих на поверхность подземных вод.

Речные наледы развиваются в результате увеличения напора воды в замерзающей реке в местах резкого сужения живого сечения потока или заполнения русла льдом. Речные наледы деформируют мосты, трубы, водозаборные сооружения, а также значительно осложняют движение транспорта зимними дорогами по льду рек.

Гидролакколиты - бугры вспучивания возникают вследствие образования льда в толще промерзших пород, т. е. при образовании *подземных наледей*. Различают гидролакколиты однолетние (сезонные) и многолетние. Гидролакколиты имеют округлую и куполовидную форму разной высоты. Бывают также пологие вздутия и валообразные поднятия. Наибольшее значение в образовании гидролакколитов имеют подозёрные талики, при промерзании которых образуются гидролакколиты высотой от нескольких метров до 70-80 м. В поперечнике крупные гидролакколиты достигают иногда 200-250 м.

Грунтовые наледы и бугры пучения являются надежным поисковым признаком на подземные воды в районах распространения многолетнемёрзлых пород.

Термокарст — замкнутые воронко-, котловино- или блюдцеобразные понижения, образующиеся вследствие вытаивания погребенного льда или оттаивания (деградации) мерзлого грунта с последующим его уплотнением. Термокарст во многих районах распространения мерзлоты занимает до 30% площади и более. Термокарстовые понижения обычно заполнены водой, образуя озёра, болота площадью в сотни квадратных метров, а иногда и километров. При образовании новых термокарстовых понижений под влиянием местных изменений термического режима многолетнемёрзлых горных пород, которое происходит при застройке и освоении новых территорий, возникает серьезная угроза различным инженерным сооружениям. Поэтому при хозяйственном освоении новых территорий необходимо проводить специальные исследования с целью выявления потенциальной возможности развития термокарстовых процессов.

Солифлюкция — течение переувлажненного оттаявшего грунта деятельного слоя под влиянием силы тяжести. Солифлюкция широко распространена на Крайнем Севере. Она проявляется на склонах при небольших углах (несколько градусов). Известны случаи перехода солифлюкционного сплывания в оползни катастрофического характера. Явления солифлюкции причиняют значительный ущерб различным сооружениям, главным образом дорогам, протрассированным вдоль склонов или на склонах.

Пучение - процесс увеличения объема промерзающего грунта, происходящий как вследствие увеличения объёма замерзающей влаги, так и в результате образования в промерзающих грунтах прослойков и линз льда, что особенно интенсивно идёт в условиях миграционного подтока воды извне к фронту промерзания. Особенно мощные прослойки и линзы льда образуются при длительной задержке границы промерзания на некоторой глубине и близком положении к ней зеркала грунтовых вод. Если же промерзание идет интенсивно (при сильных морозах), то вода в дисперсных грунтах не успевает подтягиваться к фронту промерзания и линзы и прослойки льда не обра-

зуются, а возникают лишь отдельные кристаллы льда, рассеянные во всей массе грунта и прочно цементирующие его частицы.

Пучение мерзлых грунтов оказывает отрицательное воздействие па различные сооружения, но наибольшие осложнения приносит полотну автомобильных и железных дорог, в том числе на въездных и выездных путях в карьерах, а также аэродромным покрытиям. Обычно поднятие грунта неравномерное, что изменяет профиль дорожного пути или покрытия и вносит значительные осложнения в работу транспорта. Весной при оттаивании грунт пучащихся мест разжижается и теряет способность поддерживать покрытие дорог.

Пучение на дорогах и аэродромах отмечается не только в области распространения многолетней мерзлоты, но и в районах сезонной мерзлоты, хотя и проявляется здесь менее интенсивно.

В настоящее время применяются различные варианты тепловой и водно-тепловой мелиорации: путем использования естественных тепловых процессов (снегозадержание в зимний период и удаление снега ранней весной, сжигание растительного и мохового покрова, зачернение снега и др.); оттаивание мерзлых грунтов путем нагнетания в них воды; фильтрационно-дренажный способ. Недостатком этих методов является длительность периода подготовки, но при соответствующем планировании подготовительных и очистных работ они дают значительный эффект.

6.5.Трещинные воды

Трещинные воды - это подземные воды, циркулирующие в трещиноватых горных породах. Перемещаются они по системе взаимосвязанных трещин и образуют единую гидравлическую систему.

В зависимости от условий залегания трещинные воды могут быть *грунтовыми, межпластовыми, жильными.*

Трещинно-грунтовые воды развиты в верхней трещиноватой зоне кристаллических массивов (до глубины 80-100 м). Питаются они в основном за счёт инфильтрации атмосферных осадков и отличаются значительными колебаниями уровня подземных вод во времени. Площади их питания совпадают с площадями распространения. Глубина залегания трещинно-грунтовых вод возрастает от долин к водоразделам (от нескольких метров до 80 м и более).

Водоупором трещинно-грунтовых вод служат монолитные нетрещиноватые скальные породы. Водообильность трещинно-грунтовых вод определяется условиями их питания и степенью трещиноватости горных пород.

Скальные породы, распространенные в долинах рек тектонического происхождения, более трещиноваты и водообильны, чем породы, слагающие водораздельные возвышенности.

Трещинно-грунтовые воды обычно расположены в зоне активного водообмена, поэтому в большинстве случаев они пресные, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Быстрое проникновение поверхностных осадков по системе трещин на глубину может приводить к загрязнению вод вредными органическими соединениями. Это необходимо учитывать при оценке трещинно-грунтовых вод для питьевого водоснабжения.

Межпластовые трещинные воды циркулируют в артезианских бассейнах, водоносные горизонты которых представлены трещиноватыми горными породами (рис. 8).

Трещинно-жильные воды развиты локально, исключительно в зонах тектонических нарушений с крупными трещинами. Это линейно вытянутые узкие водные потоки (жилы), уходящие в глубину на несколько сот метров, поэтому они часто имеют повышенную температуру.

Для трещинно-жильных вод характерен напорный режим. Как правило, они отличаются значительной водообильностью, нередко разгружаются на поверхности земли и образуют мощные родники.

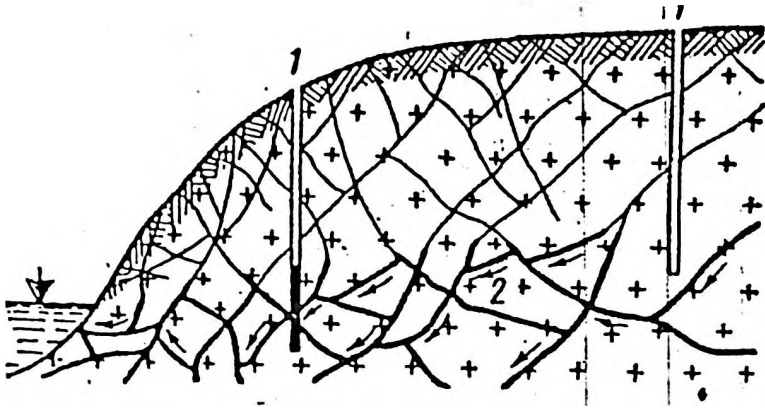


Рис. 8. Залегание трещинно-грунтовых вод: 1 - скважины; 2 - трещины с водой

Трещинно-жильные воды получают питание за счёт трещинно-грунтовых вод, разгрузки глубокозалегающих напорных водоносных горизонтов и других источников.

При строительстве подземных сооружений (трубопроводы, тоннели и др.) в горно-складчатых областях необходимо принимать меры, предотвращающие внезапный прорыв водообильных трещинно-жильных вод.

6.6. Карстовые воды

Подземные воды, которые циркулируют по трещинам и пустотам карстового происхождения, называют *карстовыми* или *трещинно-карстовыми*.

Движение карстовых вод происходит по весьма сложной системе трещин, каверн, карстовых каналов и пещер. Карстовые воды, перемещающиеся по системе взаимосвязанных крупных карстовых полостей (пещер), образуют карстовые потоки (рис. 9).

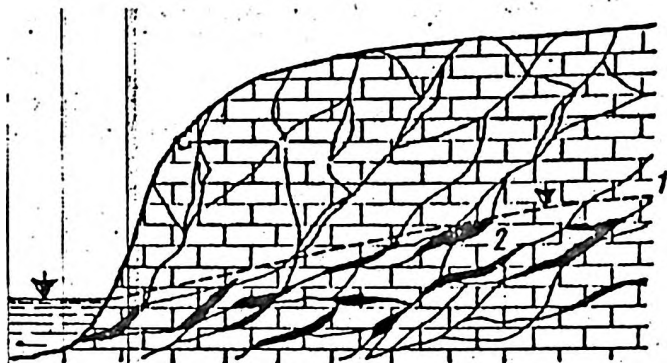


Рис. 9. Залегание карстовых вод в известняках: 1- уровень карстовых вод; 2 - зона карстовых пустот, заполненных водой

Питание карстовых вод осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, подпитывания со стороны поверхностных водотоков и водоёмов, а также перетекания подземных вод из других водоносных горизонтов. Значительная трещиноватость карстовых массивов способствует интенсивной инфильтрации атмосферных осадков и накоплению больших запасов карстовых вод. Как правило, подземные воды, циркулирующие в сильно закарстованных породах, обладают значительной водообильностью.

Химический состав карстовых вод определяется в основном составом вмещающих пород и гидродинамической зональностью.

В зоне интенсивного водообмена карстовые воды обычно пресные, гидрокарбонатные (в известняках) или жесткие сульфатные (в гипсах).

В зонах замедленного водообмена карстовые воды минерализованные и сильно минерализованные, вплоть до рассолов, состав - хлоридный.

Карстовые воды могут легко загрязняться с поверхности земли, поэтому исследованию их бактериального загрязнения придается большое значение.

Вместе с тем значительная водообильность карстовых вод может вызвать и серьезные осложнения при строительстве и эксплуатации различных

сооружений в толще закарстованных пород (повышенные водопритоки к строительным котлованам, утечки вод из водохранилищ и т. д.).

Контрольные вопросы

1. *Какие подземные воды формируются в зоне аэрации?*
2. *Назовите гидравлические свойства межпластовых подземных вод.*
3. *Для каких целей составляются карты гидроизогипс и гидроизопьез?*
4. *Что отличаются напорные воды от межпластовых безнапорных вод?*
5. *Что такое верховодка?*
6. *Каковы основные элементы артезианского бассейна?*
1. *Каковы особенности залегания, питания, движения и разгрузки подземных вод трещиноватых и закарстованных пород?*
2. *Назовите явления, связанные с многолетней мерзлотой.*
3. *Назовите категории подземных вод многолетней мерзлоты.*
4. *Назовите факторы образования термокарста.*

Глава 7. ИСТОЧНИКИ

Источниками называют естественные выходы на поверхность подземных вод. Выходы пресных вод называют также *родниками* и *ключами*. Источники чаще встречаются группами вдоль выходов на поверхность водоносных горизонтов на склонах долин, в оврагах и реже на равнинах. Иногда они едва заметны и только увлажняют почву, иногда за их счет образуются целые ручьи. С древних времен источники широко используются, так как дают самоизливающуюся, наиболее чистую и здоровую воду. Для предохранения от загрязнения их часто закрепляют срубами, каменными или бетонными сооружениями (капжамами).

Происхождение источников, их химический и газовый состав, температура, дебит, постоянство существования весьма различны. Это объясняется

разнообразием питающих их водоносных горизонтов, различиями в геологическом строении и геоморфологии районов.

Классификация источников по характеру выхода на поверхность подразделяется на *нисходящие* и *восходящие* (рис. 10).

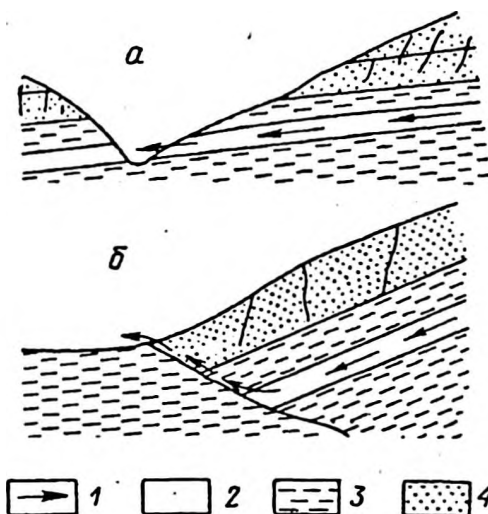


Рис. 10. Схема нисходящего (а) и восходящего (б) источников.
1 - направление движения воды и источники; 2 - водоносные породы;
3 - водоупорные породы; 4 - водопроницаемые породы.

Нисходящих источников гораздо больше, чем восходящих. Они концентрируются в низинах - в котловинах, долинах, оврагах.

Нисходящие источники образуются при естественном выходе на дневную поверхность безнапорных вод (грунтовых, трещинно-грунтовых и др.). Подземная вода к нисходящему источнику движется сверху вниз: от области питания к области дренирования, где она и выходит на поверхность. Источники этого типа встречаются в пониженных частях рельефа (речных долинах, оврагах, балках), а также в зоне контакта пород различной водопроницаемости.

Различают источники *сосредоточенные*, т. е. выходящие в одном месте, и *рассредоточенные*, когда грунтовая вода выходит в виде отдельных источников вдоль склона оврага или речной долины.

Среди нисходящих источников для водоснабжения чаще всего используют источники карстовых и грунтовых вод.

Карстовые источники образуются при выходе подземных вод из трещин и полостей закарстованных пород. Дебит карстовых источников достигает огромных величин – нескольких кубических метров в секунду.

Источники грунтовых вод образуются в основном эрозионным путем, т. е. при вскрытии грунтовых вод речными долинами, оврагами, балками или при подпруживании грунтового потока водоупорными породами. Дебит источников грунтовых вод обычно не превышает нескольких десятков м³/ч. Этого дебита бывает достаточно для удовлетворения потребностей в воде небольших предприятий и населенных пунктов.

Восходящие источники обычно встречаются в тектонически нарушенных областях, и вода в них поднимается по трещинам при выходе на поверхность напорных вод. Чаще всего они приурочены к скальным трещиноватым породам. Восходящий источник можно определить по колебанию в выходящей струе взвешенных песчинок, а также по выделению пузырьков воздуха и газов.

Восходящие источники являются очагами разгрузки артезианских, трещинно-жильных, межмерзлотных и подмерзлотных вод.

Значительно реже встречаются восходящие карстовые источники.

Воды восходящих источников, имеющие лечебное значение, называются *бальнеологическими* или *минеральными*.

По температуре воды источники делят на:

а) обыкновенные, температура которых близка к средней годовой данного места;

б) холодные, температура которых ниже средней годовой; встречаются редко, главным образом в горах, где они питаются водами снегов и льдов;

в) теплые и горячие (термы), температура которых выше средней годовой; чаще всего связаны с районами проявления молодого вулканизма, складчатости и молодых разломов. Источники с температурой более 80°C (гейзеры) периодически фонтанируют в районах молодой вулканической деятельности (Камчатка, Исландия и др.) и используются для горячего водоснабжения и отопления.

По видам воды выделяют источники:

а) зоны аэрации, приуроченные к рыхлым четвертичным отложениям и коре выветривания; б) грунтовых вод, приуроченные к местам выхода водоносных горизонтов; в) артезианских вод; г) трещинных и карстовых вод.

Источники минерализованных вод в зависимости от химического состава подразделяются на щелочные, солёные, сернистые, карбонатные (известковые), железистые и кремнистые.

Среди источников, приуроченных к эрозионным понижениям рельефа или контакту водоносных пород с водоупорными, наряду с типичными нисходящими (истекающими) источниками, отмечаются источники переливающиеся, которые из-за наличия барража (перелива в месте выхода) характеризуются восходящим движением, чем напоминают источники артезианских вод (рис. 11).

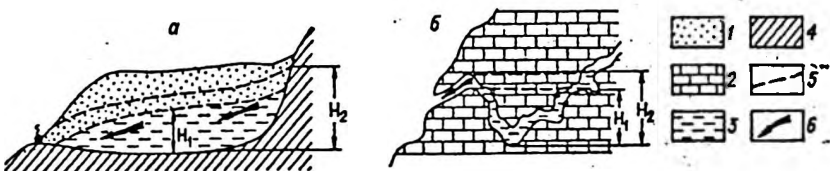


Рис. 11. Периодически действующие переливающиеся источники.

а - источник пополняющегося резервуара, б - сифонный источник;

H_1 - уровень подземных вод до наполнения резервуара, H_2 - уровень подземных вод при переполненном резервуаре.

1 - рыхлая толща (безводная); 2 - карбонатные породы; 3 - рыхлая толща (обводненная); 4 - «коренные» породы; 5 - уровень подземных вод; 6 - направление движения подземных вод

В естественных очагах разгрузки подземные воды выводятся на поверхность в виде источников (пресных, углекислых, соленых, термальных и т. д.), изливаются на дне рек и морей или переливаются в вышележащие водоносные горизонты. Это позволяет по характеру дренирования выделять открытые (наземные) и скрытые очаги разгрузки. В числе последних по отношению к резервуару подземных вод различаются внешние (субфлювиальные и субмаринные) и внутренние (подземные).

Очаги разгрузки напорных вод более разнообразны (рис. 12), они образуют эрозионные, барьерные и структурно-тектонические источники.

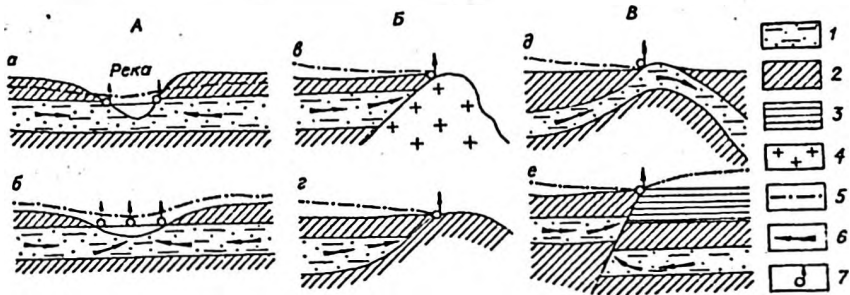


Рис. 12. Разновидности открытых очагов разгрузки артезианских вод

А - эрозионные (а - в долине реки, б - в эрозионно-тектонических понижениях рельефа);
Б - барьерные (в - барьер магматических или других пород на пути движения подземных вод, г - складка водоупорных пород на пути движения подземных вод);

В - структурно-тектонические (д - сводовая часть водоносного горизонта, е - сброс, выводящий подземные воды).

1 - водоносный горизонт; 2 - водоупорные породы; 3 - относительно водоупорные породы; 4 - плотные магматические породы; 5 - уровень напорных вод; 6 - направление движения подземных вод; 7 - очаг разгрузки артезианских вод.

Пригодность источников для практического использования оценивают по результатам продолжительных (не менее 1 года) наблюдений за изменением их дебита и качества.

Для водоснабжения важно знать минимальный и максимальный дебиты источника, продолжительность времени с минимальными дебитами; коэффициент неравномерности дебита (K_n), представляющий собой отношение максимального за 1 год дебита к минимальному.

По дебиту источники делятся на малые, средние и большие, а по степени изменения дебита: на весьма постоянные (1:1), постоянные (1:2), переменные (1:10), весьма переменные (1:30) и исключительно непостоянные (менее 1:30).

Нисходящие источники в целом отличаются значительной изменчивостью дебита под влиянием метеорологических и других факторов. Исключительно непостоянны дебиты карстовых источников. Воды этих источников подвержены наибольшим колебаниям по составу и физическим свойствам (замутняемость, бактериальное и химическое загрязнение), поэтому при использовании карстовых источников для водоснабжения необходимы тщательная гидрогеологическая их оценка и строгий санитарный надзор.

Восходящие источники характеризуются более или менее постоянным дебитом, химическим составом и температурой.

Забор воды из источников осуществляется с помощью *капотажных сооружений* (водосборные камеры или неглубокие опускные колодцы). Приём воды из восходящих источников производится через дно капотажной камеры, а нисходящих - через её стенки. При выходе источника из рыхлых водоносных пород в стенке или дне камеры устраивают обратный фильтр из песчано-гравийного материала.

Контрольные вопросы

1. Чем нисходящие источники отличаются от восходящих?
2. Какие бывают источники по температуре?

Глава 8. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

8.1. Общие понятия о движении подземных вод

Подземные воды в большинстве случаев находятся в движении. Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, называется *динамикой подземных вод*.

Подземные воды могут передвигаться в горных породах как путём *инфильтрации*, так и *фильтрации*. При инфильтрации передвижение воды происходит при частичном заполнении пор воздухом или водяными парами, что обычно наблюдается в зоне аэрации. При фильтрации движение воды происходит при полном заполнении пор или трещин водой. Масса этой движущейся воды создает *фильтрационный поток*.

Законы движения подземных вод применяются при гидрогеологических расчетах водозаборов, дренажей, определения запасов подземных вод и т.п.

Движение подземных вод может быть установившимся, неуставившимся и переменным; напорным, безнапорным и напорно-безнапорными; ламинарным (параллельно-струйчатым) и турбулентным (вихревым).

При *установившемся* движении все элементы фильтрационного потока (скорость, расход, направление и др.) не изменяются во времени. Во многих случаях эти изменения настолько малы, что для практических целей ими можно пренебречь.

Фильтрационный поток называется *неустановившимся*, если основные его элементы изменяются не только от координат пространства, но и от времени.

Подземный поток становится переменным, т. е. приобретает неуставившийся характер движения под действием различных естественных и искусственных факторов (неравномерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации и т. д.).

Для *безнапорных* потоков характерно неполное заполнение водой поперечного сечения водопроницаемого пласта. Безнапорные потоки имеют свободную поверхность, движение воды в них происходит под действием силы тяжести.

Напорные потоки характеризуются полным заполнением поперечного сечения водопроницаемого пласта водой, имеется пьезометрический уровень,

движение воды происходит как под действием силы тяжести, так и за счёт упругих свойств воды и водовмещающих пород.

Напорно-безнапорные потоки образуются при откачке воды из скважин, если пьезометрический уровень опускается ниже кровли напорного водоносного пласта.

При *ламинарном* движении струйки воды передвигаются без завихрений, параллельно друг другу. Ламинарный характер движения воды наблюдается не только в пористых, но и в трещиноватых породах с коэффициентом фильтрации до 300—400 м/сут.

В породах с крупными трещинами и пустотами, с коэффициентом фильтрации более 300—400 м/сутки, а также в хорошо промытых галечниках движение воды в отдельных случаях носит вихревой характер, или *турбулентный*. Этот тип движения в горных породах наблюдается сравнительно редко.

При известных допущениях фильтрационные потоки в плане можно рассматривать как плоские или радиальные.

Плоским называется поток подземных вод, в котором струйки направлены более или менее параллельно друг другу.

Радиальный поток отличается различным направлением струек: сходящимся или расходящимся. Примером радиального потока может служить движение грунтовых вод при откачке воды из скважины.

Фильтрационные потоки в плане можно рассматривать как плоские (струйки направлены более или менее параллельно друг другу), так и радиальные (сходящиеся или расходящиеся) и криволинейные (рис. 13).

Фильтрационные подземные потоки как в плане, так и в разрезе имеют естественные границы. Границами напорного потока в разрезе служат нижний и верхний водоупор, а безнапорного — водоупор (снизу) и свободная поверхность (сверху). Границей потоков в разрезе может быть также плоскость раздела пород с различной водопроницаемостью.

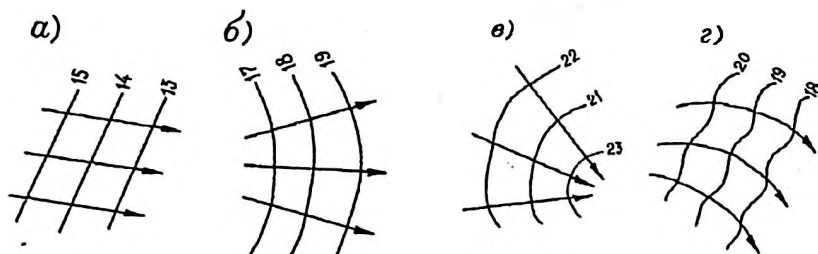


Рис.13. Потoki грунтовых вод: а) - плоский; б) – радиальный расходящийся; в) – радиальный сходящийся; г) – криволинейный

Решение задач о движении подземных вод, выбор метода гидрогеологического расчета и расчетной схемы производят на основе схематизации природных гидрогеологических условий. При этом учитывают основные особенности фильтрационного потока подземных вод (характер движения, гидравлические характеристики, фильтрационные свойства пород, границы водоносных горизонтов и т.д.).

В зависимости от степени учета особенностей потока подземных вод решение конкретных фильтрационных задач выполняется на основе простых или строгих аналитических или численных методов. В особо сложных случаях используют методы моделирования, что позволяет наиболее полно учитывать сложные природные условия, а это повышает достоверность гидрогеологических прогнозов.

8.2. Основные законы движения подземных вод

Движение воды в горных породах происходит при разности уровней ее в двух сечениях (рис. 14). Разность уровней $h = H_1 - H_2$ создает напор, под действием которого вода от сечения I движется в направлении сечения II.

Скорость подземного потока v зависит от напора и длины пути фильтрации L . С увеличением напора она возрастает, а с увеличением пути филь-

трации уменьшается.

Гидравлический уклон (гидравлический градиент) выражает падение напора воды на единицу пути фильтрации и вычисляется как отношение напора к длине пути

$$I = \frac{h}{l}$$

Движение подземных вод зависит от характера и размера пор, пустот, трещин, по которым движется вода, а также от величины гидравлического

укло-
на(рис.6)

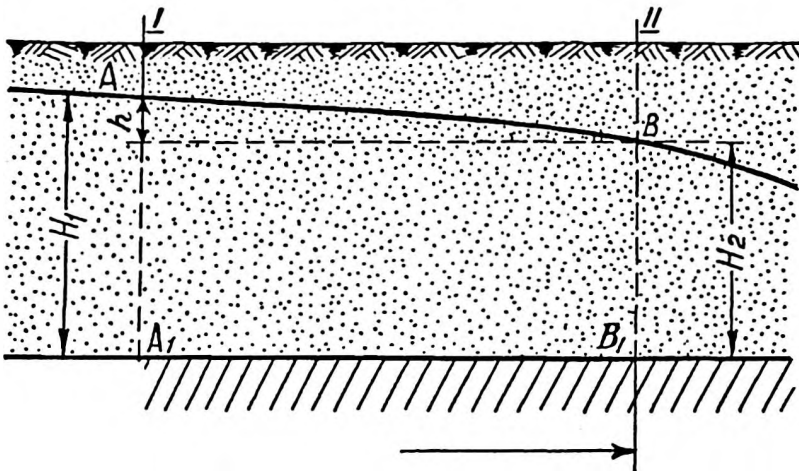


Рис. 14. Разрез участка подземного потока
AB – уровень подземных вод; A₁ B₁ – водоупорное ложе;
h – напор; l – длина пути фильтрации между сечениями I и II

Линейный закон фильтрации (закон Дарси)

Движение подземных вод в пористых породах, например: в песке, галечнике, супеси, суглинке, имеет **ламинарный** (параллельно струйчатый) характер, то есть без разрывов, с плавным изменением скорости, и подчиняется основному закону фильтрации - закону Дарси. Ламинарный характер движе-

ния обычно наблюдается и в трещиноватых породах при небольшой ширине трещин, а в ряде случаев и в кавернозных известняках.

Закон Дарси выражается формулой

$$Q = kF \frac{h}{l},$$

где Q — расход — количество фильтрующейся воды в единицу времени, м³/сутки; k — коэффициент фильтрации, м/сутки; F — площадь поперечного сечения потока, м²; h — напор или разность уровней в двух сечениях, l — длина пути фильтрации, м.

Заменяя — через l , получим $Q = kFl$

Если обе части равенства разделить на F и учесть при этом, что

$$Q / F = v,$$

получим $v = kl$,

где v — скорость фильтрации.

Уравнение показывает, что *при ламинарном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в первой степени.*

Скорость фильтрации по формуле $v = Q / F$ не отвечает действительной скорости движения воды в породе. Это связано с тем, что в формулу входит величина F , отражающая все сечение фильтрующейся породы, а вода, как известно, течёт лишь через часть сечения, равную площади пор и трещин породы. Поэтому величина v является *кажущейся*.

Действительную скорость движения воды v_d определяют с учётом пористости породы $v_d = Q / F_n = v / n$

где n — пористость, выраженная в долях единицы.

Так как величина пористости всегда меньше единицы, то действительная скорость движения воды всегда значительно выше скорости фильтрации (примерно в 3-4 раза). Например, в галечниках при $n = 0,25$ действительная скорость движения подземных вод будет в 4 раза выше скорости фильтрации. В глинистых породах часть пор занята связанной водой и вода передвигается

только через открытые поры, поэтому в данном случае в формулу вводят не n , а $n_{акт}$ (активную пористость).

Закон Дарси, или линейный закон фильтрации, справедлив для преобладающего числа случаев фильтрации в самых разнообразных породах, поэтому его называют *основным законом движения подземных вод*. Однако закон Дарси не является всеобщим.

Движение подземных вод в грубообломочных и сильно трещиноватых скальных породах с крупными пустотами большой протяженности имеет *турбулентный* (вихревой) характер. Движение турбулентного потока не подчиняется закону Дарси. Для выражения фильтрации воды в породах с крупными пустотами и трещинами, в хорошо промытых галечниках, в трубах и каналах, А. А. Краснопольский предложил формулу, характеризующую нелинейный закон фильтрации.

Формула А. А. Краснопольского $v = k_k \sqrt{I} = k_k I^{\frac{1}{2}}$,

где k_k — коэффициент фильтрации породы в формуле Краснопольского, определяемый опытным путём в поле;

I — гидравлический уклон.

Расход потока, по А. А. Краснопольскому $Q = k_k F \sqrt{I}$

Из уравнения следует, что *при турбулентном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в степени $1/2$* .

Современная теория движения подземных вод разработана почти исключительно на основе закона Дарси. Это объясняется тем, что, по данным Г.Н.Каменского, линейный закон фильтрации справедлив при действительной скорости движения подземных вод U до 1000 м/сут. или при скорости фильтрации v до 400 м/сут., а эти значения скорости значительно превышают скорость естественного потока подземных вод в песчаных и обломочных породах и могут встретиться только в карстовых пустотах и крупных трещинах.

Методы определения коэффициента фильтрации

Коэффициент фильтрации, характеризующий водопроницаемость горных пород может определяться следующими тремя методами:

1) *опытными откачками в полевых условиях.* Это наиболее точный метод определения коэффициента фильтрации водосодержащих пород. В ненасыщенных породах вместо откачек применяют опытные наливывы в шурф или в скважину;

2) *в лабораторных условиях — фильтрационными приборами.* Это недорогой, но и менее точный способ определения коэффициента фильтрации, позволяющий определить водопроницаемость не больших образцов рыхлых грунтов (высотой 10—15 см), обычно не сохранивших естественной структуры;

3) *по эмпирическим формулам, по гранулометрическому составу и пористости.* Это самый дешевый и простой, но и наименее точный способ определения коэффициента фильтрации песчаных пород. Его следует широко применять при разведке месторождений полезных ископаемых, источников водоснабжения, участков гидротехнического технического строительства и при гидрогеологической съемке, когда водопроницаемость песков, залегающих на большой площади, опытными откачками определить невозможно.

8.3. Движение подземных вод в естественных условиях

Подземные воды могут двигаться в виде безнапорного потока (то есть со свободным уровнем, на поверхности которого давление равно атмосферному) и в виде напорного (то есть когда водоносный пласт полностью заполнен водой и пьезометрический уровень устанавливается выше его кровли).

Безнапорный поток

Рассмотрим движение грунтовых вод в горизонтальном пласте, то

есть в водоносном пласте, подстилаемом горизонтально залегающим водопором (рис. 15).

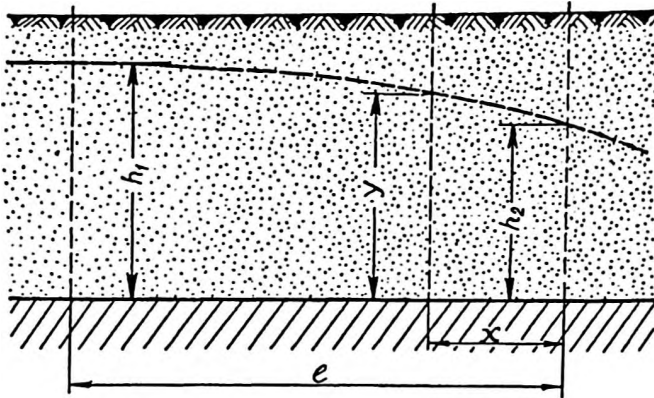


Рис. 15. Схема грунтового потока в горизонтальном пласте

Расход грунтового потока шириной B согласно уравнению

$Q = kFI$ равен

$$Q = kFI = kBh_{cp}I,$$

где h_{cp} — средняя мощность грунтового потока.

Подставив в уравнение значения

$$Q = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad \text{и} \quad I = \frac{h_1 - h_2}{l}$$

получим уравнение расхода грунтового потока

$$Q = kB \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l},$$

При ширине потока $B = 1$ получим выражение единичного расхода грунтового потока

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}.$$

Для построения уровня грунтовых вод между сечениями I и II или, для построения кривой депрессии находим мощность грунтового потока (ор-

динату кривой депрессии) y в сечении III, отстоящем от сечения II на произвольном расстоянии x .

Напишем сначала уравнение единичного расхода для участка между сечениями III и II:

$$q = k \frac{y_1^2 - h_2^2}{2x},$$

откуда

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{2qx}{k}},$$

подставляя в формулу значение q , получим формулу для вычисления мощности грунтового потока в промежуточном сечении, в которую не входит расход потока:

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2)}.$$

Расход грунтовых вод в *наклонном пласте* (рис. 16) вычисляют по приближенной формуле Г. Н. Каменского

$$Q = kB \frac{h_1^2 - h_2^2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l},$$

где H_1 и H_2 — отметки уровня грунтовых вод абсолютные или относительные, отсчитываемые от произвольной линии сравнения 00 .

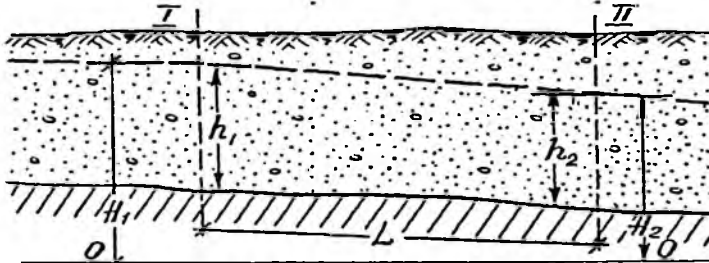


Рис. 16. Схема грунтовых вод в наклонном пласте

Напорный поток.

Расход напорных вод при ширине потока B независимо от направления уклона верхнего и нижнего водоупоров (рис. 17)

$$Q = kB \frac{M_1 - M_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l},$$

где M_1 и M_2 - значения мощности водоносного пласта, заменяемые при угле наклона пласта менее 10° расстоянием между кровлей и почвой пласта, измеряемым по вертикали в скважине.

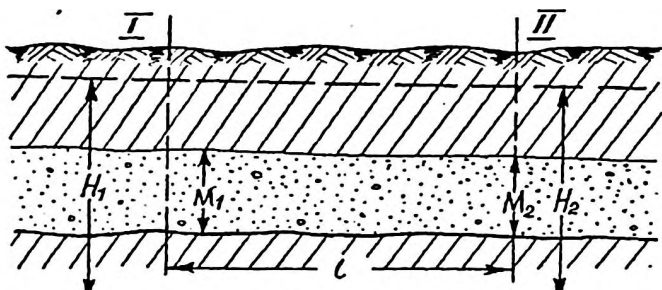


Рис. 17. Схема напорного потока

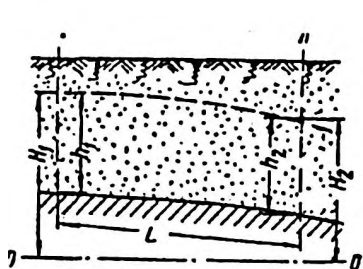


Схема грунтовых вод в наклонном пласте

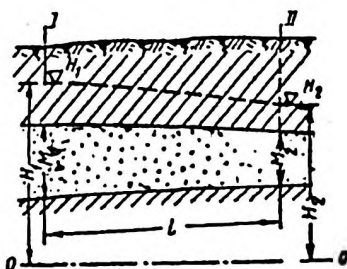


Схема напорного потока

8.4. Движение подземных вод к водосборным сооружениям

Теория движения подземных вод разработана применительно к определению притока воды к вертикальным и горизонтальным водосборам. К вертикальным водосборам относятся буровые скважины, колодцы, шурфы и вертикальные стволы шахт; к горизонтальным - осушительные канавы, каптажные галереи, штреки и др.

Вертикальные водосборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, называются *грунтовыми колодцами*, а водосборы, вскрывающие напорные воды, - *артезианскими колодцами*.

Грунтовые и артезианские колодцы могут быть совершенными и несовершенными.

Совершенными называются колодцы, доведенные до водоупора и имеющие проницаемые стенки в пределах всей толщи пласта от подошвы его до динамического уровня воды в колодце.

Несовершенными называются колодцы, не доведенные до водоупора или имеющие проницаемые стенки в пределах части водоносной толщи.

Грунтовый совершенный колодец

При откачке воды из грунтового колодца уровень воды в нем понизится на величину S . Вокруг колодца уровень притекающей воды также понизится и примет форму *депрессионной воронки* (рис. 18). Расстояние, на котором сказывается понижение уровня воды в колодце, называется *радиусом влияния* колодца.

Количество притекающей к колодцу воды (расход колодца, дебит колодца) в любом сечении на расстоянии x от оси колодца согласно линейному закону фильтрации равно

$$Q = FkI$$

Площадь поперечного сечения потока F , движущегося к колодцу,

равна площади боковой поверхности цилиндра радиусом x и высотой y , то есть $F = 2\pi xy$.

Произведя математические преобразования, получим следующую формулу притока воды в колодец:

$$Q_1 = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут.;

H — мощность водоносного горизонта, м;

h — высота пониженного уровня воды в колодце от водоупора, м;

R и r — соответственно радиус влияния и радиус колодца, м.

Заменяв в данном выражении натуральные логарифмы десятичными (переходной коэффициент от натуральных логарифмов к десятичным равен 2,3) и подставив вместо π его числовое значение, получим формулу притока воды в колодец в более удобном для пользования виде:

$$Q_1 = \frac{1.36k(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r}.$$

Заменяв h через $H - S$, получим

$$Q_1 = \frac{1.36k(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r} = \frac{1.36k(2H - S)S}{\lg R - \lg r}.$$

Нередко требуется определить положение кривой депрессии на разных расстояниях x от колодца в пределах зоны влияния откачки. Для этого вычисляют величину ординаты кривой депрессии по формуле

$$y = \sqrt{h^2 + \frac{Q}{1.36k} (\lg x - \lg r)},$$

получаемой из уравнения после замены R на x и H на y .

Из формул видно, что приток воды в колодец будет тем больше, чем больше коэффициент фильтрации k , мощность пласта H , понижение уровня S , радиус колодца r и чем меньше радиус влияния R .

Значения радиуса влияния R и радиуса колодца r оказывают незначи-

тельное влияние на величину притока, так как они входят в формулу под знаком логарифма, а логарифмы изменяются гораздо медленнее, чем числа. Например, при изменении значений R и r в десять раз логарифмы их, а, следовательно, и притоки в колодец изменяются всего в 1-2 раза. Опытные данные показывают, что на практике отмечается несколько большее влияние радиуса колодца r на величину притока в колодец Q , чем указано выше.

Величина радиуса влияния зависит от продолжительности откачки из колодца. Предельной величиной радиуса влияния является расстояние от колодца до контура области питания. Контурами области питания являются область выхода водоносного пласта на поверхность земли, река, озеро, крупное обводненное тектоническое нарушение, контуры распространения вышележащего более водообильного горизонта и другие участки пополнения рассматриваемого водоносного горизонта.

Значение радиуса влияния лучше принимать по имеющимся опытным или эксплуатационным данным, полученным в том же районе или районе, аналогичном по гидрогеологическим условиям, но это не всегда возможно.

Неустановившийся радиус влияния и увеличение его во времени в водоносном горизонте, не получающем питание в пределах депрессионной воронки, приближенно можно вычислить по формуле

$$R = 1,5\sqrt{at},$$

где a — коэффициент уровнепроводности безнапорного пласта,

$$a = \frac{kh}{\mu};$$

t — продолжительность откачки, сут.;

k — коэффициент фильтрации, м/сутки;

h — мощность водоносного пласта, м;

μ — водоотдача горных пород.

Для напорного пласта коэффициент пьезопроводности

$$a = \frac{km}{\mu^*},$$

где m — мощность пласта, м; μ^* — коэффициент, характеризующий водоотдачу из напорного пласта, которая зависит от упругих свойств воды и водоносных пород;

$$\mu^* = \gamma\beta^* m$$

где γ — вес единицы объема воды; β^* — коэффициент упругоёмкости пласта; m — мощность пласта. Приблизительно при непродолжительных откачках радиус влияния определяют по формуле И. П. Кусакина

$$R = 2s\sqrt{Hk},$$

где S — понижение уровня воды в колодце, м;

H — мощность водоносного слоя, м;

k — коэффициент фильтрации, м/сут.

Между дебитом и понижением существует параболическая зависимость следующего вида:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(2H - S_1)S_2}{(2H - S_1)S_1} \quad \text{или} \quad Q_2 = Q_1 \frac{(2H - S_1)S_2}{(2H - S_1)S_1}$$

Параболическая зависимость показывает, что приток в грунтовый колодец возрастает в несколько меньшей степени, чем понижение.

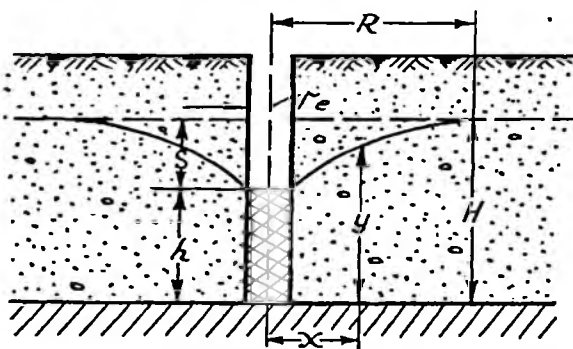


Рис. 18. Схема грунтового совершенного колодца

АРТЕЗИАНСКИЙ СОВЕРШЕННЫЙ КОЛОДЕЦ

При откачке воды из артезианского колодца вода будет притекать в него со всех сторон в пределах пласта мощностью M (рис. 19). Уровень воды в колодце понизится на величину S . Это указывает, что у колодца напор в пласте снижается и напорный уровень устанавливается на высоте h от водоупорного ложа. Соответственно происходит снижение напора в пласте в пределах радиуса влияния. Количество притекающей воды в колодец по закону Дарси :

$$Q = F k l,$$

где F — площадь поперечного сечения потока на расстоянии x от оси колодца;

$$F = 2\pi x M.$$

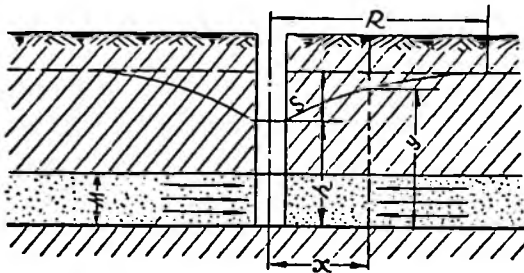


Рис. 19. Схема притока воды в артезианский колодец

Приток воды в артезианский колодец

$$Q = \frac{2,73kM(H-h)}{\lg R - \lg r} = \frac{2,73kMS}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сутки; M — мощность напорного водоносного пласта, м; S — понижение уровня воды в колодце, м; R — радиус влияния, м; r — радиус колодца, м.

Радиус влияния артезианского колодца следует брать по данным наблюдений. Приближенно его можно определить по формуле, выведенной И. П. Кусакиным для группы грунтовых колодцев, принимая за H высоту

столба воды в колодце от водоупора до пьезометрического уровня.

Ординаты кривой депрессии на разных расстояниях x от оси колодца определяются по формуле

$$y = h + \frac{Q}{2,73kM} (\lg x - \lg r),$$

Формула показывает, что приток воды в артезианский колодец, как и в грунтовый, зависит от величин k , M , S , r и R .

Дебит колодца при понижении уровня воды в нем на 1 м называют удельным дебитом и обозначают буквой q . Величину удельного дебита можно получить делением дебита колодца на понижение S :

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{2,73kM}{\lg R - \lg r}.$$

Удельный дебит колодца, как и коэффициент фильтрации, позволяет вычислить количество воды, которое может поступать в колодец. Этим показателем часто пользуются при гидрогеологических расчетах притока воды в скважину, ствол шахты и т. п.

Из формулы притока воды в артезианский колодец следует, что между дебитом Q и понижением S существует прямолинейная зависимость:

$$Q_2 = \frac{Q_1}{S_1} S_2 \quad \text{или} \quad Q_2 = q S_2.$$

Практикой установлено, что прямолинейная зависимость между Q и S имеет место при небольших значениях S . При больших значениях S зависимость между этими величинами выражается кривой, отражающей параболическую или степенную зависимость.

В сильно и равномерно трещиноватых породах, для которых характерно турбулентное движение подземных вод, исходя из формулы по А.А.Краснопольскому, дебит грунтового и артезианского колодцев пропорционален корню квадратному из величины понижения S и увеличивается значительно медленнее скорости понижения уровня в них: |

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}}.$$

Несовершенные колодцы

Несовершенные грунтовые колодцы в зависимости от наличия и положения фильтра могут быть (рис. 20) с проницаемыми стенками и глухим дном, с проницаемыми стенками и дном, с непроницаемыми стенками и проницаемым дном.

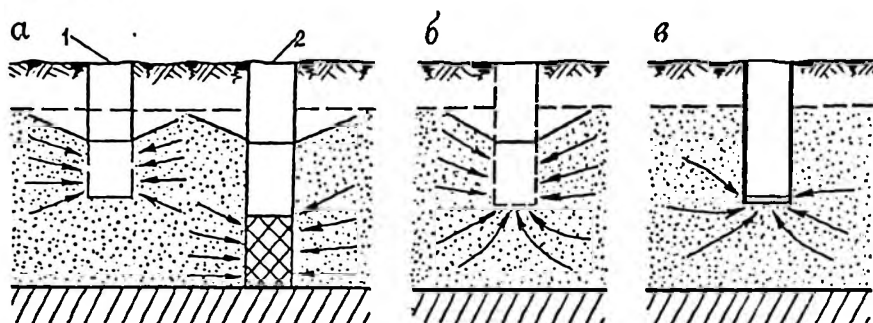


Рис.20. Типы несовершенных грунтовых колодцев:

(а – колодец с проницаемыми стенками и глухим дном: 1 – с незатопленным фильтром, 2 – с затопленным фильтром; б – колодец с проницаемыми стенками и дном; в – колодец с непроницаемыми стенками и проницаемым дном)

В несовершенных артезианских колодцах фильтр может примыкать к верхнему или нижнему водоупору или быть установленным в средней части водоносного слоя.

Приток в несовершенный колодец (рис.23) меньше, чем в совершенный, потому что струйкам воды, движущимся к несовершенному колодцу, приходится преодолевать большее сопротивление при входе в колодец и совершать больший путь, чем при движении к совершенному колодцу. Величина притока зависит от длины и расположения фильтра в колодце.

Приток воды в несовершенный артезианский или грунтовый колодец с проницаемыми стенками и глухим дном равен притоку в эквивалентный по дебиту совершенный колодец, имеющий меньший диаметр d_p , величину которого подсчитывают по формуле

$$d_p = \alpha d,$$

где d_p — расчетный (условный) диаметр совершенного колодца, м;

α — поправочный коэффициент на несовершенство колодца;

d — диаметр несовершенного колодца, м.

Коэффициент несовершенства колодца (скважины) α определяют по графику (рис. 21), составленному В. М. Шестаковым. По вертикальной оси графика отложена величина

$$\beta = \frac{l}{M},$$

где l — длина фильтра; M — мощность напорного водоносного горизонта (рис. 21). По горизонтальной оси графика отложены значения γ для пяти случаев значений

$$\gamma = \frac{d}{l}.$$

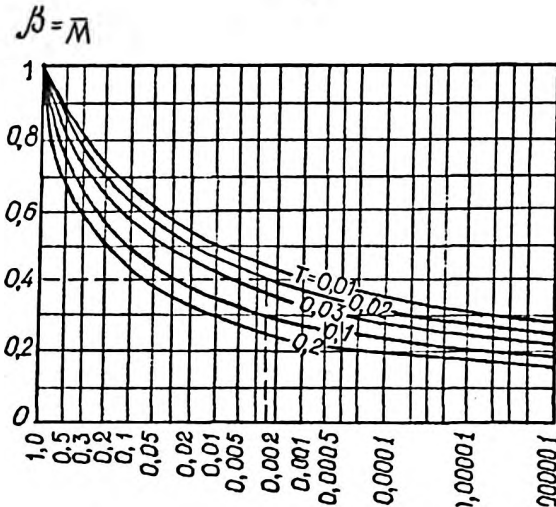


Рис.21. График для расчетов коэффициента несовершенства скважины α .

В грунтовом колодце для расчета коэффициента α за мощность водоносного горизонта M можно приближенно принять превышение динамиче-

ского уровня над водоупором, а за величину l — работающую часть фильтра колодца.

После определения по графику величины a и подсчета по формуле $d_p = ad$, значения расчетного диаметра совершенного колодца d_p , приток воды в артезианский или грунтовый колодец определяется соответственно по формулам притока воды в грунтовый или совершенный колодец подстановкой вместо r значения

$$r_p = \frac{d_p}{2}.$$

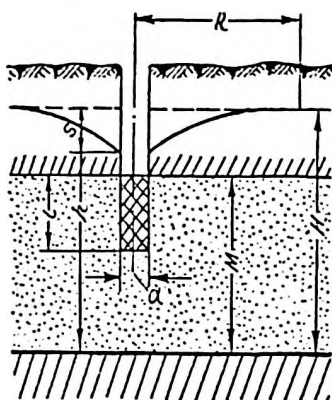


Рис. 22. Несовершенный артезианский колодец

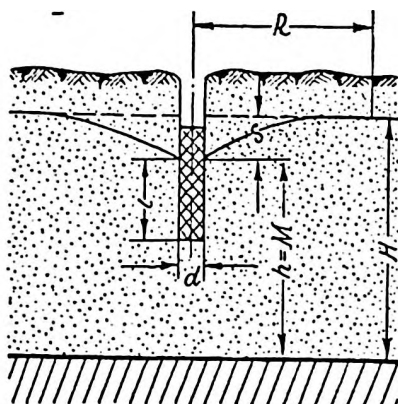


Рис. 23. Несовершенный грунтовый колодец

Приток воды из пласта большой мощности в несовершенный артезианский колодец, только вскрывший водоносный пласт, или в грунтовый колодец с проницаемым дном (рис. 22) равен:

при полусферической форме дна

$$Q = \pi d S k, \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

при плоской форме дна

$$Q = 2 d S k, \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

где d — диаметр несовершенного колодца, м;

S — понижение уровня воды в колодце, м,

k — коэффициент фильтрации; м/сут.

Горизонтальная канава, доведенная до водоупора

Горизонтальные водосборы разделяются на *совершенные*, доведенные до основания водоносного пласта, и *несовершенные* (подвешенные), прорезающие водоносный слой не на всю мощность.

В несовершенные водосборы вода поступает не только через стенки, но и через дно. Поступающая вода движется к канаве в слоях грунта, расположенных выше и ниже ее дна, причем характер и направление движения струек зависят от глубины залегания водоупорного ложа.

Простейшим видом горизонтального водосбора является дренажная канава, или галерея, доведенная до горизонтально залегающего водоупорного ложа (рис.24).

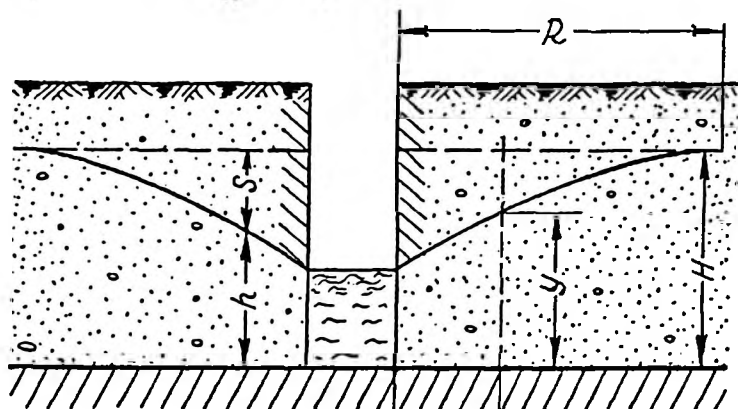


Рис. 24. Горизонтальная канава, доведенная до водоупора

Единичный расход канавы, то есть приток в канаву длиной 1 м с одной стороны,

$$h_{cp} = \frac{H + h}{2} \cdot g = kh_{cp} I$$

Для участка между канавой и границей ее влияния средняя мощность водоносного слоя и средняя величина гидравлического уклона

$$I = \frac{H - h}{l}.$$

Подставив в уравнение значения h_{cp} и I , получим формулу для вычисления единичного потока воды в канаву с одной стороны (при длине ее 1 м):

$$g = k \frac{H^2 - h^2}{2R}.$$

Приток в канаву длиной B с одной

$$Q = kB \frac{H^2 - h^2}{2R} \text{ или}$$

$$Q = kB \frac{H^2 - h^2}{2} I$$

Для получения притока в канаву с обеих сторон надо величину Q удвоить.

Величина среднего уклона депрессионной кривой зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются водопроницаемость грунта и продолжительность водопонижения. Чем больше водопроницаемость, тем на большее расстояние влияет канава и тем меньше уклон депрессионной кривой. По опытным данным уклон I депрессионной кривой в пределах всей зоны влияния R равен:

для наиболее проницаемых грунтов....	0,003—0,006
для песков	0,006—0,020
для песчаных грунтов.....	0,02 —0,05
для суглинистых грунтов	0,05 —0,10
для глинистых грунтов.....	0,10 —0,15
для тяжелых глин	0,15 —0,20

Для построения кривой депрессии у канавы вычисляют ординаты депрессионной кривой на разных расстояниях x от стенки канавы по формуле

$$y = \sqrt{h^2 + \frac{x}{R}(H^2 - h^2)}.$$

8.5. О взаимодействии водопонижающих скважин и их расчёт

При заложении групповой установки водопонижающих скважин при осушении месторождений скважины располагают на таком расстоянии, чтобы они оказывали влияние одна на другую.

Рассмотрим взаимодействие двух скважин, расположенных одна от другой на расстоянии $2a$ (рис. 25). Если скважины расположены на расстоянии, меньшем радиуса влияния ($2a < R$), при откачке воды из скважины 1 и понижении в ней уровня на величину S_1 в скважине 2 произойдет снижение уровня на величину i_2 . При понижении уровня воды в скважине 2 на величину S_2 в скважине 1 уровень воды снизится на величину i_1 .

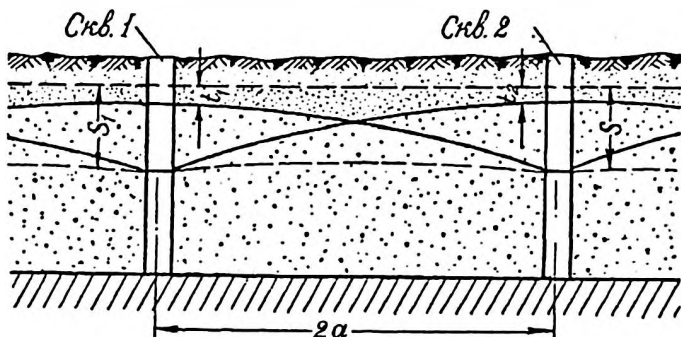


Рис. 25. Схема взаимодействия двух скважин

При одновременной откачке воды из обеих скважин депрессионные воронки наложатся одна на другую, уровень воды между скважинами снизится еще больше и кривая депрессии займет положение, указанное на рис. 14 пунктиром. Чем больше будут сближены скважины, тем большее понижение будет достигнуто. При этом дебит каждой скважины Q' будет меньше дебита одиночной скважины Q .

Снижение дебита скважин оценивается величиной интерференции

$$\delta = \frac{Q'}{Q}.$$

Значения интерференции, по Л. С. Лейбензону, в зависимости от отношения расстояния между скважинами и радиусом влияния

$2a-2R$	R	$0,5R$	$0,2R$	$0,02R$	$0,002R$
$\delta-1,00$	$0,97$	$0,90$	$0,81$	$0,64$	$0,53$

Из приведенных данных следует, что при расположении скважин на расстоянии $2a > 2R$ взаимодействия не будет, и уровень воды посредине между скважинами не будет снижаться.

При расположении скважин на расстоянии, равном половине радиуса влияния ($2a = 0,5R$), снижение дебита при взаимодействии будет сравнительно невелико (до 10%), поэтому при бурении группы скважин, предназначенных для водоснабжения, для уменьшения длины трубопровода целесообразно располагать скважины на расстоянии, равном половине радиуса влияния.

При осушении, когда основное значение имеет положение кривой депрессии между скважинами, их располагают значительно ближе, чем при водоснабжении ($2a < 0,1R$), стремясь максимально снизить уровень подземных вод на участке осушения.

В условиях взаимодействия скважин, расположенных в один длинный ряд, дебит каждой совершенной скважины можно определить по формулам Чарного - Абрамова:

при дренаже напорных вод

$$Q' = \frac{2,73kMS}{\lg \frac{a}{r} + \frac{1,36R}{2a}},$$

при дренаже безнапорного потока

$$Q' = \frac{1,36k(2H-S)S}{\lg \frac{a}{r} + \frac{1,36R}{2a}},$$

где a - половина расстояния между скважинами в ряду, м.

При заложении группы водопонижающих скважин в напорном водоносном по кругу, по углам правильного многоугольника или по незначи-

тельно вытянутому контуру различной формы (при отношении длины к ширине менее 2,5) дебит каждой из артезианских скважин, по

В. М. Щелкачеву,

$$Q^1 = \frac{2,73 kMS}{\lg \frac{R_0^n}{nr_0^{n-1}r}},$$

дебит каждого из грунтовых колодцев в тех же условиях

$$Q^1 = \frac{2,73k(2H - S)S}{\lg \frac{R_0^n}{nr_0^{n-1}r}},$$

где R_0 — радиус влияния, отсчитываемый от центра установки до границы области питания, м; n — число скважин; r_0 — радиус круга или приведенный радиус круга, к которому приравнен реальный контур группы скважин, м.

Величину приведенного радиуса при расположении скважин по периметру не очень вытянутого контура площадью F можно вычислить по формуле

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

Радиус влияния установки R_0 равен приведенному радиусу r_0 плюс радиус влияния скважин R . Величину R лучше брать по практическим данным; если их нет, то можно вычислить по формуле И. П. Кусакина.

Чем больше заложено скважин на участке осушения, тем больше снизится уровень воды в произвольно взятой точке A (рис. 26), причем общее снижение уровня в точке A приближенно будет равно сумме снижений уровня от действия каждой скважины.

При заложении группы водопонижающих скважин в напорном водонесном горизонте понижение в любой точке A осушенного участка вычисляют по формуле

$$S_A = \frac{nQ^1}{2,73kM} \left[\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n) \right],$$

где Q^1 — дебит каждой скважины, м³/сут.; $x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ — расстояния от

точки A до скважины 1, ..., n , м.

В центре установки сниженный напор приближенно равен

$$S_n = \frac{nQ^1}{2,73kM} (\lg R_0 - \lg r_0).$$

Для установки водопонижающих скважин в безнапорных водах величину сниженного уровня грунтовых вод в точке A в пределах зоны влияния вычисляют по формуле

$$H_A = \sqrt{H^2 - \frac{nQ^1}{1,36k} \left[\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n) \right]}.$$

В центре установки высота сниженного уровня приближенно равна

$$H_{\text{ц}} = \sqrt{H^2 - \frac{nQ^1}{1,36k} (\lg R_0 - \lg r_0)}.$$

Вычисленный по формулам дебит каждой скважины выражает количество воды, которое притекает к скважинам со всех сторон. При расчете водопонижающей установки надо подобрать количество скважин и длину фильтров такими, чтобы скважины могли принять дебит, поступающий к групповой установке, то есть чтобы водопропускная способность скважин была не меньше вычисленного дебита.

Водопропускная (водозахватная) способность скважины определяется с учетом допустимой критической скорости фильтрационного потока у скважины по формуле

$$F = F v_{\text{кр}}$$

где F — площадь фильтрующих стенок скважины, м^2 ; $v_{\text{кр}}$ — критическая скорость фильтрации у скважины, м/сут .

По формуле С. К. Абрамова водопропускная способность скважины

$$f = 120 \pi r l \sqrt[3]{k},$$

а удельная водопропускная способность (1 м фильтрующей части

скважины)

$$\varphi = 120 \pi r \sqrt[3]{k},$$

где r — наружный радиус фильтра или фильтрующей обсыпки (если последняя есть), м;

l — длина фильтрующей части скважины или рабочей части фильтра, м;

k — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут.

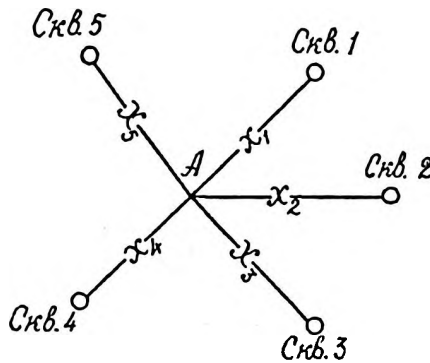


Рис. 26. Схема расположения группы взаимодействующих скважин

Более надежно водопропускная способность скважины устанавливается продолжительной откачкой.

8.6. Уравнения для определения коэффициента фильтрации по данным откачек

При продолжительности откачек 1-2 суток и более в хорошо проницаемых породах, где режим движения подземных вод приобретает квазистационарный характер, то есть кривые депрессии перемещаются параллельно самим себе, радиус зоны колеблется от 20 до 100 м в безнапорных водах и от 200 до 1500 м в напорных водах, поэтому расчёты коэффициента фильтрации могут вестись по формулам установившегося движения.

По данным откачки из грунтового совершенного колодца коэффициент фильтрации вычисляют по формулам

для центральной скважины

$$k = 0,73Q \frac{\lg R - \lg r}{(2H - S)S}, \text{ м/сут.};$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,73Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}, \text{ м/сут.};$$

При откачке из артезианской совершенной скважины для центральной скважины

$$k = 0,366Q \frac{\lg R - \lg r}{MS}, \text{ м/сут.};$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{M(S_1 - S_2)}, \text{ м/сут.};$$

где Q — дебит скважины при откачке. м³/сут.; R — радиус влияния при откачке, м; r — радиус центральной скважины, м; H — мощность безнапорного водоносного горизонта, м; M — мощность напорного водоносного слоя, м; S — понижение уровня воды в центральной скважине, м; S_1 и S_2 — понижение уровня воды в первой и второй наблюдательных скважинах, м; x_1 и x_2 — расстояние наблюдательных скважин от центральной, м.

Радиус влияния при недлительной откачке можно приближенно определять по формуле И.П.Кусакина или воспользоваться следующими ориентировочными значениями при понижении на 2-3 м:

супесчаные породы	10-20 м
тонкозернистые пески.....	20-50 м
мелкозернистые пески.....	50-75 м
среднезернистые пески	75-100 м
крупнозернистые пески.....	100-200 м
гравелистые пески	150-200 м
галечник.....	200-250 м

Значения коэффициента фильтрации песчаных пород наиболее точно получаются по замерам понижений в наблюдательных скважинах, когда исключается влияние скачка (разрыва уровней воды) у центральной скважины. Коэффициент фильтрации скальных пород наиболее правильно определять по формулам для центральной скважины, так как фильтр в них обычно не устанавливается и скачок мал, а в наблюдательных скважинах вследствие неравномерной трещиноватости можно и не получить достоверных значений понижения и плавной воронки депрессии.

Для вычисления коэффициента фильтрации по данным откачек из несовершенной скважины при значениях $l/M < 0,1$ (что обычно имеет место) можно применять формулы для откачки из грунтового совершенного колодца и при откачке из артезианской совершенной скважины с поправками Н. Н. Веригина на несовершенство скважин следующего вида:

при откачке из грунтового колодца: для центральной скважины

$$k = 0,73Q \frac{\left(\lg \frac{R}{r} + 0,217\xi \right)}{(2H - S)S}, \text{ м / сут.};$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,73Q \frac{\lg \frac{x_2}{x_1} + 0,217(\xi_1 - \xi_2)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}, \text{ м / сут.};$$

При откачке из артезианской скважины для центральной скважины

$$k = 0,73Q \frac{\lg \frac{R}{r} + 0,217\xi_1}{MS}, \text{ м / сут.};$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0,366Q \frac{\lg \frac{x_2}{x_1} - 0,217(\xi_1 - \xi_2)}{M(S_1 - S_2)}, \text{ м / сут.};$$

где ξ , ξ_1 и ξ_2 — величины фильтрационных сопротивлений соответственно учитывающие несовершенство центральной, первой и второй наблюдатель-

ных скважин.

Величины ξ_1 и ξ_2 находят по табл.1 в зависимости от отношения длины рабочей части фильтра центральной скважины l к мощности водоносного горизонта M и мощности водоносного горизонта M к величине r , x_1 или x_2 .

В случае откачки из грунтового колодца при определении величины e мощность водоносного горизонта M следует принимать равной $H - S/2$, а длину незатопленного фильтра центральной скважины l - равной общей длине фильтра минус половина длины осушенной части фильтра. Более надежно водопропускная способность скважины устанавливается продолжительной откачкой.

Таблица 1.

Значения величин фильтрационных сопротивлений скважин

$\frac{l}{M}$	M/r									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,000546	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

Несовершенство наблюдательных скважин, если они расположены на расстояниях, примерно равных или превышающих мощность водоносного горизонта, очень незначительно, и его можно не учитывать.

8.7. Водопонижение и дренаж

Искусственное понижение уровня подземных вод для осушения водоносных пластов широко применяют в период строительства и эксплуатации сооружений. Необходимость в защите от подземных вод возникает при отрывке котлованов в водонасыщенных грунтах, ликвидации аварий на действующих коллекторах и других сооружениях, а также при подтоплении уже застроенной территории.

При выборе рационального способа водопонижения учитывают не только характер возводимого или построенного сооружения, размер осушаемой зоны, но и конкретные геологические и гидрогеологические условия. Основной задачей расчётов является достоверное определение возможного водопритока к дренажным и водопонизительным устройствам.

Временное понижение уровня подземных вод (на период строительства) называют *строительным водопонижением*, длительное водопонижение (обычно несколько лет и более) - *дренажом*.

Различают естественный и искусственный дренаж. Осушение местности при *естественном дренаже* происходит путём естественного стока подземных вод в понижениях (долины, реки, впадины). При *искусственном дренаже* уровень подземных вод снижается путем сбора и отвода воды специально построенными дренами.

Дрены, или каналы-осушители, не только собирают воду, но и транспортируют её в сторону от дренирующей площади, т. е. от той зоны, где обеспечено искусственное понижение уровня подземных вод.

Водопонизительные дренажи могут быть *совершенными* и *несовершенными*. В первом случае они прорезают весь осушаемый водоносный пласт, во втором - до водоупора не доходят.

Типы дренажей. В зависимости от конструкции водоприёмных устройств и характера расположения их в толще грунтов различают горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренаж.

Горизонтальный дренаж обеспечивает понижение уровня отводом воды с помощью канав (траншей), подземных галерей и других горизонтальных дрен.

Отток воды при горизонтальном расположении дрен происходит самоотёком. Для этого дренам придают необходимый уклон. Глубина заложения горизонтальных дрен обычно не более 5-6 м. Дренажные воды сбрасываются в открытые водные протоки или сеть ливневой канализации. Горизонтальный

дренаж может быть *открытым* (осушительные каналы) и *закрытым* (трубчатые дрены в траншее). В закрытой траншее для предохранения дренажной трубы от заиливания вокруг нее устраивают обсыпку из нескольких слоев песка и гравия (рис. 27).

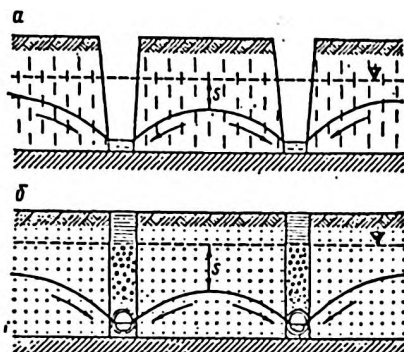


Рис. 27. Дренажные траншеи: а — открытые; б — закрытые

К разновидностям горизонтального дренажа могут быть отнесены и *лучевые водозаборы* с горизонтальными лучами-дренами, которые применяют на крупных водопонижительных системах в условиях водообильного водоносного горизонта.

Вертикальный дренаж обеспечивает понижение уровня подземных вод откачкой насосами или сбросом воды в нижележащие водопроницаемые породы. Вертикальный дренаж осуществляют с помощью водопонижительных скважин, иглофильтровых установок, поглощающих скважин и открытого водоотлива. Общей их чертой является вертикальное расположение водоприёмных устройств.

Водопонижительные скважины оборудуют погружными насосами или всасывающими устройствами. Скважины располагают по контуру будущего котлована сооружения. Вокруг скважин при откачке воды образуются депрессионные воронки, которые, смыкаясь друг с другом, создают общее понижение подземных вод. Такие скважины применяются при не ниже 3-5

м/сут и относятся преимущественно к средствам глубокого водопонижения (свыше 15 м).

Иглофильтровые установки состоят из системы иглофильтров (тонких металлических труб длиной 7-9 м с фильтром на их нижних концах), которые устанавливают вокруг котлованов или вдоль траншей и присоединяют к всасывающему коллектору. Легкие иглофильтровые установки (ЛИУ) понижают уровень подземных вод на 4,5 м (одним ярусом) в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1-2 до 40-50 м/сут. При глубоком водопонижении применяют два или три яруса установок. Для осушения тонкозернистых песков и супесей, плохо отдающих воду, с $k_f = 0,01$ -: 1,0 м/сут применяют *эжекторные иглофильтры*. С их помощью в водонасыщенном грунте создается вакуум, улучшается водоотдача и эффект водопонижения усиливается.

Осушение глинистых грунтов текучей консистенции с $k_f < 0,1$ м/сут основано на *электроосмотическом явлении*. Под действием электротока вода вместе с положительно заряженными ионами перемещается от металлического штыря - анода к иглофильтру - катоду и затем откачивается.

Поглощающие скважины устраивают для понижения уровня путём сброса воды верхних водоносных горизонтов в нижние. Принимающий пласт должен иметь уровень ниже подошвы осушаемого пласта и быть достаточно водообильным.

Открытый водоотлив — наиболее простой и дешёвый способ водопонижения (рис 28). Однако при этом способе грунтовые воды могут вызвать обрушение и оплывание откосов котлованов, выпор и другие фильтрационные деформации грунтов, поэтому открытый водоотлив целесообразен лишь в устойчивых грунтах типа гравийно-галечных. В песчаных грунтах его необходимо сочетать с глубинным водопонижением, при котором откосы котлованов будут уплотняться.

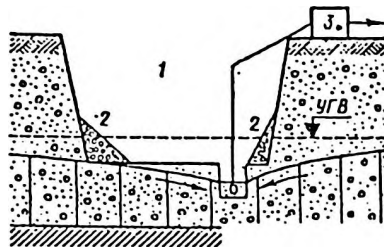


Рис. 28. Открытый водоотлив: 1 - котлован; 2 - пригрузка откосов; 3 - насос

В сложных гидрогеологических условиях целесообразно применение различных технических средств для водопонижения. Так, при наличии напорных и грунтовых вод снижение пьезометрического уровня подземных вод может быть достигнуто с помощью вододонизительных скважин или эжекторных иглофильтров, а снижение грунтовых вод — с помощью легких иглофильтровых установок или открытого водоотлива.

Комбинированный тип дренажа объединяет вертикальные и горизонтальные дрены.

Системы водопонижительных установок и дренажей. В зависимости от их расположения в плане по отношению зданий и сооружений различают линейные, кольцевые (контурные), площадные и точечные системы.

Рассмотрим первоначально применение различных систем в строительном водопонижении, т. е. при кратковременном характере водопонижения на период строительства.

Линейные системы водопонижительных установок используют для защиты вытянутых в плане выемок типа траншей.

Кольцевые (или контурные) системы водопонижительных установок применяют при значительных размерах осушаемой зоны, когда линейно расположенные установки не в состоянии осушить водоносный пласт. В зависимости от требуемой глубины понижения и сложности гидрогеологических условий используют один или несколько контуров водопонижительных установок.

Площадные системы водопонижительных установок применяют для понижения уровня подземных вод в пределах всего осушаемого участка.

При *длительном водопонижении (дренаж)* системы дренажных устройств также классифицируются в зависимости от их расположения и назначения. Выделяют *дренажи головной и береговой (линейные системы), кольцевой (контурные системы), систематический (площадные системы) и пластов (точечные системы)*.

Головной дренаж используют для понижения уровня грунтового потока, питание которого осуществляется со стороны. Грунтовые воды перехватываются горизонтальными или вертикальными дренами, закладываемыми выше защищаемого участка (рис.29).

Береговой дренаж применяют для перехвата подземных вод в районах, расположенных вблизи открытых водотоков или водоемов. С его помощью отводят фильтрационный поток, движущийся в береговую зону со стороны реки в период паводка, при подъеме уровня воды в водохранилище и др.

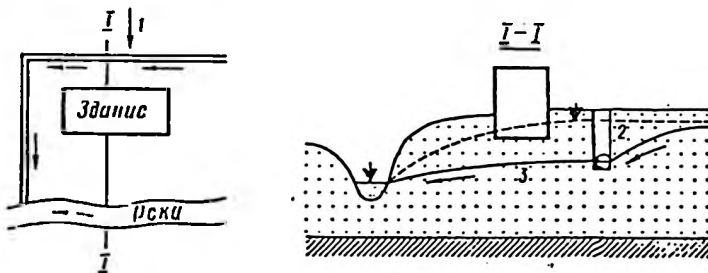


Рис. 29. Головной дренаж (план и разрез): *I* — направление потока грунтовых вод; *2* — головная дрена; *5* — сниженный уровень грунтовых вод

Кольцевой дренаж проектируют для борьбы с подтоплением отдельных сооружений с глубокими фундаментами, например, подземных емкостей (резервуаров). Он может обеспечить полный перехват воды по контуру защищаемого участка, снизить напоры и уровни подземных вод и тем самым предотвратить «всплывание» подземных емкостей при их опорожнении.

Систематический дренаж целесообразен для защиты от подтопления больших территорий путем равномерного осушения равнинного участка с неглубоким залеганием подземных вод. Систематический горизонтальный дренаж состоит из отдельных дрен, собирающих воду из грунта, и коллектора, отводящего воду за пределы дренируемого участка (рис.30 а). Систематический вертикальный дренаж объединяет вертикальные дрены (рис.30, б).

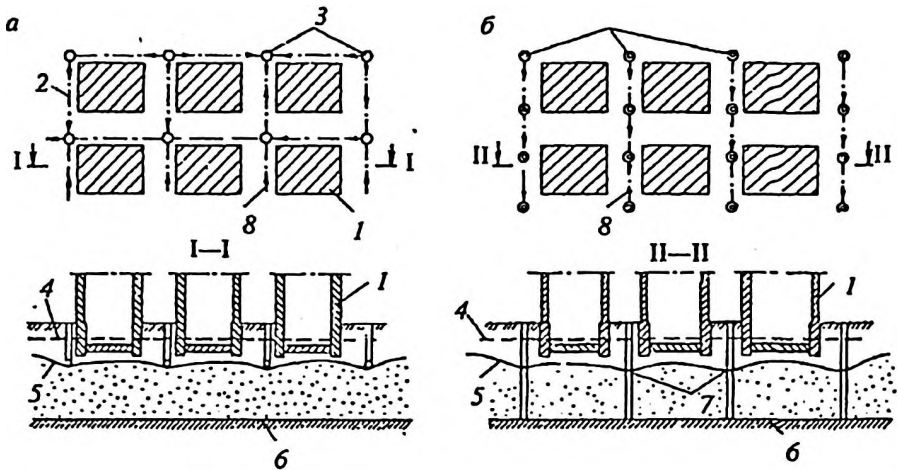


Рис. 30. Схема систематического дренажа:
а - горизонтального; б - вертикального: 1 — контур защищаемого сооружения;
2 - ось горизонтального дренажа; 3 - смотровые колодцы; 4 - непониженный уровень
грунтовых вод; 5 - пониженный уровень грунтовых вод; 6 - водоупор; 7 - вертикальные
дрены; 8 - направление отвода дренажных вод

Пластовый дренаж представляет собой слой фильтрующего материала (песок, песчано-гравийные смеси, щебень), который укладывается в основании дренируемого сооружения или на откосах котлованов, карьеров (рис. 31). Вода из пластового дренажа отводится с помощью труб, лотков или канав. В условиях городской застройки обычно прибегают к устройству не одной, а нескольких систем дренажа.

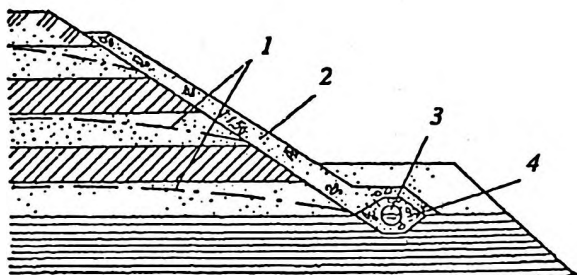


Рис. 31. Пластовый дренаж на откосах котлована: 1 - пониженные уровни подземных вод; 2 - песчаная пригрузка; 3 - дренажная труба; 4 - засыпка гравием

Контрольные вопросы

1. Какие бывают потоки грунтовых вод?
2. Что означает гидравлический градиент и как он выражается?
3. Что характеризует коэффициент фильтрации?
4. Назовите основные методы определения коэффициента фильтрации?
5. Чем совершенный грунтовый колодец отличается от несовершенного?
6. Когда образуется депрессионная воронка?
7. Назовите типы дренажей.

Глава 9. РЕЖИМ И БАЛАНС ПОДЗЕМНЫХ ВОД

9.1. Режим подземных вод

Режим подземных вод — это изменение во времени их уровня, химического состава, температуры и расхода.

В естественных условиях для подземных вод характерен ненарушенный (естественный) режим, который формируется в основном под влиянием климатических (метеорологических), гидрологических, геологических, космических, биогенных и эндогенных факторов.

Климатические (метеорологические) факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) - основные в формировании режима грунтовых вод. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения химического состава, температуры и расхода грунтовых вод.

Сезонные колебания уровня обусловлены неравномерностью выпадения осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Наиболее высокое понижение уровня приходится на периоды весеннего снеготаяния (весенний максимум) и осенних дождей (осенний максимум). Разность между наивысшим и наинизшим горизонтом подземных вод называют *максимальной амплитудой колебания уровня*.

Обычно амплитуды сезонных колебаний грунтовых вод не превышают 2,5 - 3,0 м, а максимальные составляет 10 - 15 м (в долинах горных рек, сложенных галечниками и закарстованными известняками).

Подъем уровня начинается лишь через некоторое время после выпадения осадков. Этот отрезок времени тем больше, чем меньше водопроницаемость пород и больше глубина залегания грунтовых вод.

Уровень грунтовых вод колеблется не только по сезонам, но и в многолетнем цикле. Амплитуды многолетних колебаний могут превышать амплитуды сезонных колебаний и достигать значительных размеров (до 8 м и более). Изучение многолетнего режима подземных вод необходимо для определения расчётной величины мощности водоносного горизонта, прогноза положения уровня на весь период длительной эксплуатации сооружений и т. д.

Гидрологический режим рек влияет на положение уровней подземных вод и их химический состав в полосе шириной от 0,2 - 0,5 км (в песчано-глинистых отложениях) до 2 - 6 км в хорошо проницаемых породах. Колебания уровня подземных вод в речной долине с некоторым отставанием отражают колебания уровня реки.

В районах морских побережий уровень грунтовых вод изменяется под действием приливов и отливов.

Геологические факторы действуют на любом участке земной коры. С глубиной их значение увеличивается. Среди геологических факторов выделяют медленно действующие (колебательные тектонические движения, внутренняя теплота земного шара и др.) и эпизодические (землетрясения, вулканизм, оползни, грязевые вулканы).

В районах тектонических поднятий уровень подземных вод обычно снижается, так как породы лучше дренируются вследствие углубления эрозионных врезов (оврагов, долин). При опускании местности уровень грунтовых вод повышается. Изменяется и химический состав воды.

При землетрясениях появляются новые и исчезают старые источники, существенно меняется термический режим, химический и газовый состав подземных вод.

Вулканические явления сопровождаются выделением огромного количества тепла, что приводит к резкому изменению температуры, химического состава и уровня подземных вод. Изменения в режиме подземных вод часто фиксируются ещё до начала землетрясения и извержения магмы, поэтому могут быть одним из критериев активизации их деятельности.

Режим артезианских, карстовых и надмерзлотных вод в естественных условиях существенно отличается от режима грунтовых вод.

В сравнение с грунтовыми водами уровень и химический состав артезианских вод подвержены значительно меньшим изменениям. Влияние метеорологических и гидрологических факторов существенно лишь в областях питания и разгрузки, где артезианские воды гидравлически связаны с грунтовыми и поверхностными водами. В области напора пьезометрический уровень в скважинах колеблется под влиянием атмосферного давления, приливов и отливов, землетрясений и других факторов, вызывающих изменение упругого режима фильтрации.

Резкой изменчивостью уровня, химического состава и расхода отличаются карстовые воды, залегающие в верхней части карстового массива. Амплитуды колебания их уровней изменяются от 0,5 до 30 м и более, расходы карстовых источников в течение года меняются от десятков литров до десятков кубометров в секунду, изменяется химизм воды.

Режим надмерзлотных вод в районах многолетней мерзлоты неустойчив и связан с интенсивностью промерзания и оттаивания мерзлых грунтов. Максимальные расходы надмерзлотных вод наблюдаются в период наибольшего оттаивания деятельного слоя, минимальные - в конце зимы до начала снеготаяния. Повышение уровня надмерзлотных вод в зимний период указывает на промерзание водоносного горизонта и образование напора.

9.2. Режим подземных вод в условиях влияния техногенных факторов

Инженерно-строительная деятельность человека и другие техногенные причины изменяют естественные режимобразующие факторы и способствуют возникновению новых, в частности, так формируется *искусственный (или нарушенный) режим* подземных вод.

Деятельность человека может проявляться в повышении и в понижении уровня подземных вод, в изменении их химического состава, расхода и температуры. Основное внимание при инженерно-геологических исследованиях уделяется изучению уровня режима подземных вод.

Повышению уровня подземных вод способствуют строительство водохранилищ и других искусственных водоемов, орошение, утечка воды из подземных сетей водонесущих коммуникаций, промышленных бассейнов, водохранилищ и т. д. Под влиянием искусственных (антропогенных) факторов уровни подземных вод могут подниматься на 10 - 15 м и более.

Особенно значительно обводняющее действие крупных водохранилищ.

На орошаемых площадях вследствие просачивания оросительных вод уровень грунтовых вод повсеместно повышается. Это приводит к увеличению испарения грунтовых вод и повышению их минерализации, поэтому в нашей стране запрещено проектирование оросительных систем без применения дренажа.

В областях распространения лёссовых пород на территориях жилых районов и особенно на участках промышленных сооружений уровень грунтовых вод с течением времени, как правило, повышается. Глубина залегания зеркала от поверхности земли в ряде случаев составляет 1 - 3 м. Это связано с утечкой воды из водопроводных и канализационных систем, уменьшением испарения воды вследствие застройки территории и т. д. Подобное явление, называемое подтоплением.

Понижение уровня подземных вод вызывается длительными откачками воды для водоснабжения, осушением заболоченных земель, строительным водопонижением, дренажем и т. д.

Чем интенсивнее работы по отбору воды из недр земли, тем на большую глубину снижаются уровни подземных вод.

В ходе режимных наблюдений установлено снижение уровней в районах крупных водозаборов до 100 м и более.

Техногенные факторы интенсивно воздействуют и на качество подземных вод. В силу различных причин минерализация, химический и бактериологический составы подземных вод с течением времени могут изменяться. В первую очередь это отражается на оценке подземных вод для питьевого водоснабжения.

Весьма специфично влияние техногенных факторов в районах многолетней мерзлоты. Практически любое сооружение, возводимое в этих районах (водохранилища, очистные сооружения и т. д.), резко изменяет температуру и влажность мёрзлых грунтов и оказывает существенное влияние на режим верхних горизонтов мерзлотных вод.

9.3. Баланс подземных вод

Под балансом подземных вод понимают соотношение между приходом и расходом подземных вод на данном участке за определённое время.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны, и если первый отражает изменение количества и качества подземных вод во времени, то второй - результат этого изменения. Баланс может составляться для крупных территорий или для отдельных участков (поля орошения и фильтрации, групповые водозаборы и т. д.). Участки, где проводятся измерения прихода и расхода подземных вод, называют *балансовыми*.

С помощью баланса характеризуют водообеспеченность района и возможности ежегодного пополнения запасов подземных вод, изучают причины подтопления территорий, прогнозируют изменение уровня подземных вод.

Для решения этих вопросов необходимы данные о составляющих баланса: приходных и расходных.

Приходная часть баланса грунтовых вод под влиянием естественных режимообразующих факторов складывается из следующих составляющих: инфильтрации атмосферных осадков (Л); конденсации водяных паров (К); подземного притока (П).

Подземный приток в свою очередь включает боковой приток (P_1), фильтрационные поступления из поверхностных водных источников (реки, озера) (P_2) и переток из нижележащего водоносного горизонта (P_3).

Расходная часть баланса складывается из испарения (И) и подземного стока (С).

Испарение (И) включает расход воды за счёт испарения с поверхности грунтовых вод и транспирации воды растительностью. Подземный сток (С) может быть представлен боковым оттоком (C_1) и перетоком в нижележащий водоносный горизонт (C_2).

Балансовое уравнение грунтовых вод для данного участка за время t имеет вид

$$\Delta W = A + K + \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 - И - C_1 - C_2,$$

где ΔW — изменение запасов грунтовых вод за время t .

Если на территории участка проводились режимные наблюдения за уровнем грунтовых вод, баланс грунтовых вод может быть выражен уравнением

$$\mu \Delta h = A + K + \Pi - И - C,$$

где Δh — среднее изменение уровня за время t ; μ — коэффициент водоотдачи (при Δh с минусом) и недостаток насыщения (при Δh с плюсом).

Величина $\mu \Delta h$ изменяется по сезонам и в многолетнем цикле. Она может быть положительной при подъёме уровня грунтовых вод и отрицательной при его опускании.

На балансовом участке могут быть выражены не все составляющие. Так, например, при глубоком залегании грунтовых вод из балансового уравнения исключается испарение (И), при отсутствии перетока воды через водопор — C_2 и Π_3 .

В условиях искусственного (нарушенного) режима подземных вод в балансовое уравнение грунтовых вод вводятся расходы на водоснабжение (В), расходы в дренажи (Д), фильтрация из оросительных каналов (Φ_k) и другие составляющие.

Превышение прихода подземных вод над расходом может вызвать подтопление территории, при обратном соотношении составляющих баланса — её осушение.

Изучая баланс крупной территории или любого другого участка, можно регулировать режим подземных вод в нужном направлении.

Для решения балансовых уравнений применяют экспериментальные и расчётные методы. В первом случае все основные статьи баланса подземных вод определяют непосредственным измерением, во втором — их рассчитыва-

ют на основе режимных наблюдений, используя уравнения неустановившегося движения в конечных разностях (метод Г.Н. Каменского).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные режимообразующие факторы для грунтовых вод.
2. Принципиальная разница между режимом и балансом подземных вод.
3. Из чего складывается расходная часть баланса грунтовых вод.
4. Назовите составляющие приходной части баланса грунтовых вод.
5. Что способствуют повышению уровня подземных вод?
6. Как формируется искусственный (или нарушенный) режим подземных вод.
7. Назовите основные факторы в формировании режима грунтовых вод.
8. Какую разность называют максимальной амплитудой колебания уровня?

Глава 10. ЗАПАСЫ И РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Запасы подземных вод - это количество (объём) гравитационной воды, содержащейся в водоносных пластах (м^3). Подземные воды, пригодные для использования в различных целях, относятся к ценнейшим полезным ископаемым. В отличие от твёрдых полезных ископаемых они могут находиться в движении и периодически возобновляться.

Ресурсы подземных вод - это количество подземных вод, поступающих в водоносные пласты в единицу времени ($\text{м}^3/\text{сут}$), путём инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек, перетекания из водоносных горизонтов и т. д.

Оценка запасов и ресурсов подземных вод имеет важнейшее значение для водоснабжения. Ни один водозабор не может быть построен и пущен в эксплуатацию без предварительного подсчета запасов подземных вод.

Тип водозаборных сооружений, варианты их размещения, оптимальный режим работы и другие вопросы, связанные с использованием подземных вод для нужд водоснабжения, решаются на основе подсчитанных запасов подземных вод.

10.1. Классификация запасов подземных вод по гидрогеологическим условиям

В настоящее время большинство исследователей подразделяют запасы подземных вод на *естественные и эксплуатационные*.

Естественные запасы подземных вод — это объём гравитационной воды, который содержится в водоносных пластах в естественных условиях (в статическом состоянии или в движении). Естественные запасы состоят из статических, упругих и динамических запасов.

Статические и упругие запасы (по Ф. М. Бочеву) характеризуют объём гравитационной воды в порах и трещинах водоносных пород в м^3 .

Упругие запасы - это количество воды, которое может быть извлечено из напорного водоносного пласта без его осушения за счёт упругих свойств воды и горных пород при понижении уровня.

Под *динамическими запасами или естественными ресурсами* понимают расход подземных вод ($\text{м}^3/\text{сут}$), протекающих через водоносный пласт. Динамические запасы в процессе круговорота воды на Земле постоянно обновляются.

Эксплуатационные запасы подземных вод - количество подземных вод, которое может быть получено в единицу времени из водоносного горизонта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами без прогрессирующего снижения дебита и динамических уровней и ухудшения качества воды в течение всего расчётного срока водопотребления.

В районах действующих водозаборов уровень подземных вод снижается, образуются депрессионные воронки. В благоприятных гидрогеологиче-

ских условиях это может вызвать привлечение в эксплуатируемый водоносный горизонт дополнительных источников питания. В этом случае эксплуатационные запасы по своей величине могут превосходить естественные запасы за счет *дополнительных* или *привлекаемых* запасов подземных вод.

По Ф. М. Бочеву, дополнительное питание водоносного пласта при действии водозаборов может происходить за счёт поступления воды из соседних областей питания.

В формировании эксплуатационных запасов существенную роль могут играть и *искусственные запасы*. Они создаются путем инфильтрации воды с поверхности земли при устройстве искусственных сооружений (инфильтрационные бассейны, оросительные системы, поглощающие скважины и т. п.).

Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод в районах водозаборов используют различные методы: гидродинамический, балансовый и др.

Оценить эксплуатационные запасы - это значит: определить дебит и понижение уровня подземных вод в период эксплуатации; рассчитать взаимодействие водозаборов; дать прогноз изменения качества подземных вод; обосновать наиболее рациональные в технико-экономическом отношении способы отбора воды.

10. 2. Классификация эксплуатационных запасов подземных вод по степени изученности

В зависимости от степени изученности и детальности выполненных гидрогеологических работ эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются на четыре категории: *A, B, C₁ и C₂*.

Категория A - запасы изучены и разведаны детально, полностью выяснены условия залегания и питания водоносных горизонтов, фильтрационные свойства пород, установлена связь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, а также возможность пополнения эксплуатацион-

ных запасов. Эксплуатационные запасы подземных вод на участке проектируемого водозабора определены по данным опытно-эксплуатационных или опытных откачек.

Категория В - запасы подземных вод изучены с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, питания и связи с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Эксплуатационные запасы определены по данным опытных откачек или по расчётной экстраполяции.

Категория С₁ - запасы разведаны и изучены в общих чертах. Эксплуатационные запасы определены по данным пробных откачек из единичных разведочных выработок, а также по аналогии с существующими водозаборами или прилегающими участками с категориями *А* и *В*.

Категория С₂ - запасы установлены на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтверждённых опробованием водоносного горизонта в отдельных точках, либо по аналогии с разведанными участками.

Для отнесения запасов к той или иной категории необходима также качественная оценка подземных вод. Качество вод оценивается в зависимости от их назначения. Наиболее жесткие требования в отношении качества предъявляются к запасам вод, оцениваемым по категориям *А* и *В*.

На базе утвержденных запасов по категориям *А* и *В* производится проектирование и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих водозаборов. В отдельных случаях, когда установление эксплуатационных запасов подземных вод по категории *А* экономически нецелесообразно из-за весьма сложных геолого-гидрогеологических условий, допускается проектирование и строительство водозаборов по категории *В*,

Выявленные запасы по категориям *С₁* и *С₂* предназначены для перспективного планирования использования подземных вод, обоснования бурения разведочных скважин на воду и т. п. Для перевода этих категорий в

более высокую категорию *B* выполняют дополнительный объем гидрогеологических работ.

Контрольные вопросы

- 1. Что такое естественные и искусственные запасы подземных вод?*
- 2. Какие ресурсы называются естественными, искусственными и привлекаемыми?*
- 3. Что такое эксплуатационные запасы и в каких единицах они измеряются?*

Глава 11. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Охрана подземных вод становится все более актуальной проблемой современности. В России охрана природных ресурсов, в том числе и охрана подземных вод от загрязнения и истощения, является одной из важнейших задач государства.

Использование, сохранение и воспроизводство природных ресурсов, включая и подземные воды, регламентируется и находится под контролем государственных организаций.

Основные мероприятия по охране подземных вод, проводимые в настоящее время, заключаются в предотвращении истощения подземных вод и охране подземных вод от загрязнения.

11.1. Истощение запасов подземных вод

Под *истощением запасов* подземных вод следует понимать их сработку в процессе водоотбора без восполнения. Признаком истощения является прогрессирующее снижение динамических уровней эксплуатируемого водоносного горизонта, часто при постоянном расходе. В отличие от обычных процессов формирования депрессионной воронки падение уровней при истощении запасов с течением времени не только не уменьшается, но нередко и уве-

личивается. Сниженные уровни подземных вод после прекращения водоотбора не восстанавливаются в течение ряда лет.

Причина истощения запасов подземных вод заключается в чрезмерном отборе подземных вод крупными водозаборами в условиях недостаточной обеспеченности питанием эксплуатируемого водоносного горизонта.

Под влиянием длительной эксплуатации водозаборов подземных вод вокруг них образуются огромные депрессионные воронки, так называемые районные депрессии, с наибольшим понижением в центре.

Практически во всех крупных промышленных городах мира и во многих городах России, где напорные воды длительное время эксплуатируются групповыми водозаборами, возникли значительные районные депрессии подземных вод с радиусами до 20 км и более.. Пьезометрический уровень подземных вод в среднем снижается до 3-5 м в год.

Истощению подземных вод способствует также неконтролируемый бесхозный самоизлив артезианских вод из скважин, достигающий многих тысяч кубических метров в сутки.

Меры борьбы с истощением запасов пресных подземных вод. Для предотвращения истощения запасов предусматривают разнообразные меры, в том числе: регулирование режима водоотбора подземных вод; более рациональное размещение водозаборов по площади; введение кранового режима эксплуатации самоизливающихся скважин и т. д.

В последние годы для предотвращения истощения подземных вод всё чаще применяют искусственное пополнение их запасов. Этот метод даже при интенсивном отборе подземных вод позволит более рационально использовать геологические ресурсы и осуществлять охрану подземных вод.

Сущность искусственного пополнения запасов заключается в переводе поверхностного стока в подземный. Пополнение осуществляется путём инфильтрации поверхностной (сырой) воды в водоносные пласты. Подземные воды получают при этом дополнительное питание, что позволяет увеличи-

вать производительность водозаборов без истощения естественных запасов. При использовании этого метода возможно частично (или полностью) отказаться от строительства специальных водоочистительных сооружений, так как «сырая» вода при инфильтрации через толщу грунтов освобождается от бактериального загрязнения, становится более чистой и более высокого качества.

Общая схема работ по искусственному пополнению заключается в следующем. Вода из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища) подается к инфильтрационным сооружением, построенным в районе водозаборов. Из одних сооружений (бассейны, каналы и др.) «сырая» вода свободно инфильтруется, из других (скважины, колодцы) нагнетается в водоносные пласты, где смешивается с подземными водами. Водозабор из источников пополнения осуществляется с помощью скважин, шахтных колодцев и лучевых водозаборов.

Запасы пополняются искусственно не только на участках действующих водозаборов, но и в районах с ограниченными водными ресурсами для создания сезонных или многолетних ёмкостных запасов подземной воды, так называемое *магазинирование поверхностных вод*.

Возможность и целесообразность искусственного пополнения подземных вод определяются комплексом факторов (природных, технических, санитарных и др.), среди которых важное значение имеют геолого-гидрогеологические условия. Для успешного применения метода необходимо, чтобы в районе строительства имелся достаточно мощный (не менее 10-20 м), хорошо проницаемый (k_f не менее 3-5 м/сут) и фильтрационно однородный (без слабопроницаемых прослоев) водоносный пласт. Зона аэрации должна иметь мощность не менее 5-8 м (лучше 10-15 м) и быть достаточно проницаемой для инфильтрации «сырой» воды.

При небольшой мощности зоны аэрации очистное и барьерное действие грунтов в отношении загрязненных поверхностных вод может оказаться недостаточным.

Наиболее благоприятны для размещения инфильтрационных сооружений долины рек, конусы выносов предгорных равнин, морские побережья, сложенные хорошо проницаемыми песчаными, песчано-гравийными и галечными отложениями. Вполне возможно и необходимо искусственное пополнение запасов подземных вод в суровых районах Крайнего Севера, где в зимний период промерзают как поверхностные, так и частично подземные источники воды. В этих районах целесообразно применение метода инфильтрации поверхностных вод через поглощающие скважины.

Инфильтрационные сооружения для пополнения запасов подземных вод созданы и успешно эксплуатируются во многих районах России.

11.2. Загрязнение подземных вод

Под *загрязнением* подземных вод понимают такие изменения их качества, которые приводят к превышению допустимых концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды и делают её непригодной для использования.

Основными *источниками загрязнения* подземных вод являются бассейны бытовых и промышленных стоков, участки складирования отходов, загрязненные воды поверхностных водоемов, неисправная канализационная сеть, избыточное применение удобрений и ядохимикатов (рис.32).

К естественным источникам загрязнения относят сильно минерализованные подземные или морские воды, которые могут внедряться в продуктивный пресный водоносный горизонт при эксплуатации водозаборных сооружений.

Загрязнённые растворы могут проникать в подземные воды различными путями: при фильтрации промышленных стоков из хранилищ и от-

стойников через зону аэрации, по затрубному пространству неисправных скважин, через поглощающие скважины, карстовые воронки, провалы и др.

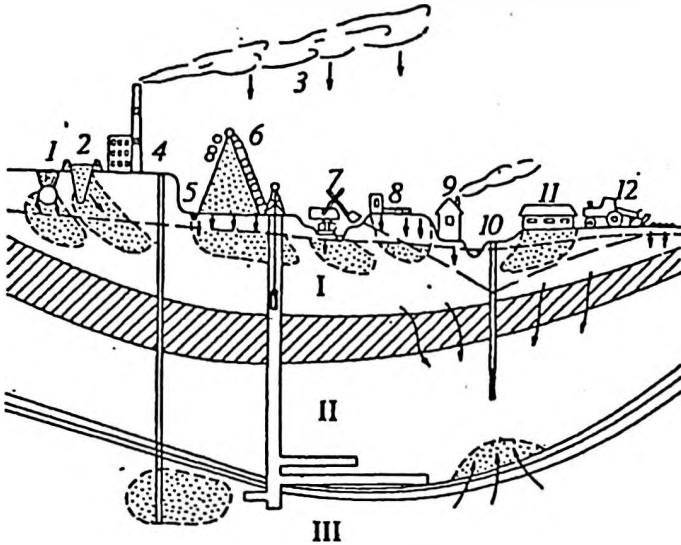


Рис. 32. Источники загрязнения подземных вод:

I - грунтовые воды; *II* - напорные пресные воды; *III* - напорные соленые воды;
 1 - канализационные коллекторы; 2 - хвостохранилища; 3 - лымовые и газовые выбросы;
 4 - подземное захоронение стоков; 5 - шахтные вольги; 6 - терриконы; 7 - карьерные воды;
 8 - заправочные станции; 9 - бытовое загрязнение; 10 - водозабор, подтягивающий соленые воды; 11 - объекты животноводства; 12 - внесение удобрений и пестицидов

Возможность загрязнения подземных вод во многом определяется геолого-гидрогеологическими условиями района, а именно: наличием или отсутствием перекрывающих слабопроницаемых пород, их фильтрационными и поглощающими (сорбционными) свойствами, глубиной залегания подземных вод и т. д.

Грунтовые воды и в особенности верховодка более всего подвержены загрязнению, так как они не защищены сверху толщей водоупорных пород от проникновения загрязняющих веществ. Артезианские воды загрязняются в

значительно меньшей мере, преимущественно при сбросе сточных вод через систему поглощающих скважин.

При отсутствии водонепроницаемых покровных пород интенсивно загрязняются трещинные и карстовые воды. Очищающая способность трещиноватых и закарстованных пород значительно хуже, чем пород с высокой сорбционной ёмкостью (суглинки и пр.), поэтому в них загрязненные растворы распространяются на большие расстояния.

Наиболее часто встречается химическое и бактериальное загрязнение подземных вод. Значительно реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение.

Химическое загрязнение - наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть органическим (фенолы, нефтяные кислоты, ядохимикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соли цинка, ртути, свинца и др.) и нетоксичным. Вредные химические вещества при фильтрации в пласте сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок, однако, как правило, полного самоочищения загрязнённых вод не происходит. Наибольшего распространения (до 10 км и более) очаг химического загрязнения достигает в сильно проницаемых грунтах и при значительных уклонах подземного потока, т. е. при хорошем оттоке подземных вод.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в подземных водах патогенных бактерий, вирусов (до 700 видов), простейших и др. Этот вид загрязнения носит временный характер. Его интенсивность зависит от величины начального загрязнения, водопроницаемости грунтов и времени выживания бактерий и вирусов.

Весьма опасно содержание в подземных водах, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих *радиоактивное загрязнение*. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в подземных водах

(стронций-90, уран, радий-226, цезий и др.). Радиоактивные элементы могут проникать в подземные воды как в результате их взаимодействия с радиоактивными горными породами, так и при выпадении на поверхности земли радиоактивных продуктов и отходов.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в подземные воды механических примесей, содержащихся в сточных водах (песок, шлак и др.), преимущественно по крупным трещинам и пустотам. Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели подземных вод.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры подземных вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими сточными водами.

Меры борьбы с загрязнением подземных вод. Для предотвращения загрязнения подземных вод разрабатывают инженерные мероприятия, включающие очистку сточных вод, создание безотходных производств, экранирование чаш бассейнов, перехват профильтровавшихся стоков дренажем и др. Особо токсичные сточные воды закачивают через скважины в глубокие водоносные горизонты, в массивы каменной соли и др. Однако этот метод не совершенный, т. е. возможно проникновение загрязненных вод в вышележащие водоносные горизонты через каверны в обсадных трубах и по затрубным пространствам нагнетательных скважин.

При выборе мест заложения водозаборов последние должны располагаться выше по потоку подземных вод относительно возможных участков загрязнения. Водозаборы не следует размещать близко к реке или к морю во избежание подтока загрязненных речных или соленых морских вод. Не рекомендуется размещать водозаборы вблизи промышленных предприятий и сельскохозяйственных территорий, со значительными утечками сточных вод.

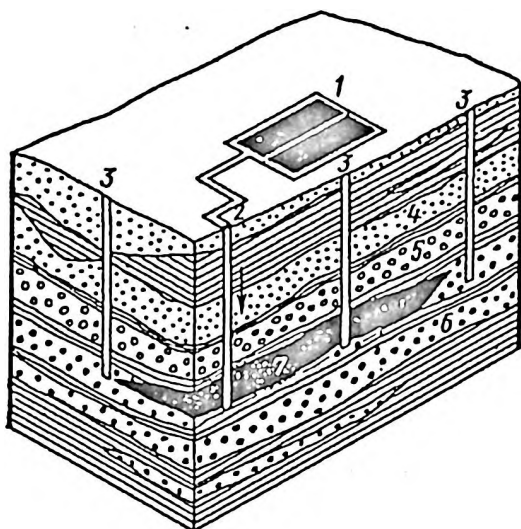


Рис. 33. Схема «захоронения» промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты (по Н.В. Тарасовой):

1 - емкость; 2 - нагнетательная скважина; 3 - наблюдательные скважины;
4-6 - зоны водообмена; 7 - закачанные промышленные стоки

Важнейшей мерой предупреждения загрязнения вод в районе водозаборов является устройство вокруг них зон санитарной охраны.

11.3. Зоны санитарной охраны (ЗСО)

Зоны санитарной охраны (ЗСО), т. е. территории с особым режимом, исключающие возможность загрязнения и ухудшения качества подземных вод, устанавливают вокруг всех водозаборов, эксплуатирующих подземные воды для питьевого водоснабжения. Согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН 2.1.4.1110—02), состоят они из трёх поясов.

Первый пояс, или зона строгого режима, включает участок, непосредственно примыкающий к водозабору. Граница зоны проходит на расстоянии не менее 30 м от водоприемных сооружений при эксплуатации артезианских вод и не менее 50 м - при эксплуатации грунтовых вод. На территории зоны

строного режима запрещаются, в частности, все виды строительства, размещение хозяйственно-бытовых зданий, закладка карьеров для добычи песка, бурение скважин, проходка шурфов и других выработок, не связанных с эксплуатацией водозабора. Территория первого пояса ЗСО должна быть ограждена и обеспечена охраной.

Второй и третий пояса, или *зоны ограничений*, охватывают территории, на которых ограничивается производственная и хозяйственная деятельность человека для защиты эксплуатируемого водоносного горизонта от загрязнения.

Второй пояс ЗСО предназначен для защиты водоносного пласта от микробных (бактериальных) загрязнений. Граница этого пояса определяется гидродинамическими расчетами, исходя из условий, что микробное загрязнение не достигает водозабора. Запрещается размещение кладбищ, скотомогильников, силосных траншей, животноводческих и птицеводческих предприятий и других объектов, которые могут создавать угрозу микробного загрязнения. Кроме того, ограничиваются земляные, строительные и другие работы. Особенно строгие меры ограничения вводят при охране водозаборов, эксплуатирующих недостаточно защищенные подземные грунтовые, а также напорные и безнапорные межпластовые воды, имеющие непосредственную гидравлическую связь с открытыми водоёмами.

Третий пояс ЗСО защищает эксплуатируемый водоносный пласт от химического загрязнения. Его границы также определяются гидродинамическими расчетами. Расчеты должны подтвердить, что время продвижения химических загрязнений будет больше расчетного срока службы водозабора (обычный срок эксплуатации водозабора 25-50 лет).

На территории третьего пояса ЗСО запрещается размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, шламохранилищ и других объектов, которые могут вызвать химическое загрязнение подземных вод.

Любое новое строительство на территории второго и третьего поясов ЗСО возможно лишь при обязательном согласовании с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Соблюдение указанных выше санитарных правил обязательно для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц.

Контрольные вопросы

- 1. Укажите источники и виды загрязнения подземных вод.*
- 2. Приведите краткую характеристику отдельных видов загрязнения.*
- 3. Перечислите мероприятия, предохраняющие подземные воды от истощения вод в районах гидротехнического строительства, при захоронении сточных вод, а также в других случаях.*

Глава 12. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

12.1. Гидрогеологические исследования

К основным видам гидрогеологических исследований при поисках и разведке подземных вод относятся: гидрогеологическая съемка, поиски, предварительная и детальная разведка, гидрогеологические наблюдения при разведочном бурении, бурении гидрогеологических скважин, стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод, опытно-фильтрационные исследования и гидрохимическое изучение подземных вод.

Каждой стадии разведки соответствует свой объем и характер гидрогеологических исследований и наблюдений.

Гидрогеологическая съемка заключается в проведении сети маршрутов, при которых на топографическую (а лучше геологическую) карту наносятся источники, колодцы, буровые скважины, болота, поверхностные водоёмы и

водотоки и даётся их описание с определением дебита и качества воды источников и колодцев.

В процессе проведения съёмки нередко ведётся бурение скважин на недостаточно изученный водоносный пласт и проводятся откачки для изучения его водопроницаемости. В слабо изученных районах съёмка сопровождается геофизическими работами и наблюдениями за режимом подземных вод.

Задачей гидрогеологической съёмки является выяснение количества водоносных горизонтов, условий их залегания и распространения, а также химического состава поверхностных и подземных вод.

При бурении разведочных скважин ведутся *гидрогеологические наблюдения за уровнем воды в скважинах и поглощением промывочной жидкости*. Последние позволяют определить поглощающую способность горных пород.

Основная цель *поисковых работ* - выявить в районе исследований участки (или площади), перспективные по гидрогеологическим условиям для размещения водозаборов.

На стадии поисков представление о гидрогеологических условиях месторождения можно получить главным образом путём изучения имеющихся в фондах отчётов и опубликованных работ по геологии, гидрогеологии, геоморфологии, гидрографии, климату района. Проводится маршрутная или площадная съёмка, собираются данные по буровым скважинам и по обводнённости расположенных вблизи эксплуатируемых объектов.

Предварительная разведка производится для приближённой оценки эксплуатационных запасов и качества подземных вод в пределах участков, выявленных по результатам поисковых работ. На данном этапе работ выполняют основной объём гидрогеологических изысканий для обоснования проектов водоснабжения. В процессе предварительной разведки устанавливают степень обводнённости отдельных участков (котлованов, карьеров), количество водоносных горизонтов, глубина залегания, мощность, величина напора и подробнее изучается основной горизонт подземных вод. Изучаются

литологические особенности, физико-механические, водные свойства и водообильность пород. Устанавливается связь основного водоносного горизонта с соседними горизонтами и водами поверхностных водотоков и водоёмов.

Детальная разведка производится для оценки эксплуатационных запасов подземных вод по высоким категориям (А, В), в пределах участков (участка), отобранных по данным предварительной разведки. В результате детальных изысканий получают полные данные о количестве и качестве подземных вод.

Бурение гидрогеологических скважин ведётся для определения уровней воды отдельных водоносных горизонтов с изоляцией водоносных горизонтов друг от друга путем тампонажа. Наблюдения за уровнем воды в гидрогеологических скважинах имеют важное значение, так как они используются для установления мощности водоносного слоя, величины гидростатического напора и построения гидрогеологических карт.

Водообильность встреченных скважиной водоносных горизонтов опробуется кратковременными откачками, по результатам которых вычисляются коэффициенты фильтрации водосодержащих пород и удельный дебит скважины, т. е. дебит при понижении уровня воды в скважине на 1 м.

Стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод проводятся для установления связи подземных вод с поверхностными водами рек и водоёмов, зависимости положения уровня подземных вод от метеорологических факторов (главным образом осадков) и взаимосвязи между водоносными горизонтами. На участках со сложными гидрогеологическими условиями эти наблюдения должны вестись в течение нескольких лет, во всяком случае не менее года. Организуются они при детальной разведке и нередко продолжают в период эксплуатации.

По сезонам года изучается изменение химического состава подземных вод. Скважины стационарной сети наблюдений оборудуются фильтрами с прочно закрывающимися крышками во избежание засорения.

Опытно-фильтрационные исследования. Основными данными, характеризующими водообильность водоносных горизонтов, являются удельный дебит скважины и коэффициент фильтрации, определяемые обычно при откачках, реже наливками.

Для опробования водоносных горизонтов проводятся кратковременные откачки из одиночных скважин в процессе бурения (пробные откачки), а для более точного определения водопроницаемости пород - откачки длительного характера (опытные откачки) из одиночных скважин или куста скважин.

Опытные откачки проводятся в наиболее характерных местах, выбранных в результате предварительного изучения геологического строения района, условий залегания водоносного горизонта, направления потока и т. п.

При разведке, опытные откачки целесообразно осуществлять в местах с максимальной и средней обводнёностью и на участках с невыдержанным геологическим строением.

Опытный куст состоит из центральной скважины, из которой ведётся откачка воды, и из наблюдательных, расположенных по одному или двум лучам по направлению и перпендикулярно движению подземного потока. Чем сложнее гидрогеологические условия и чем более детальную характеристику водопроницаемости пород необходимо получить, тем больше закладывается скважин по большему числу лучей. Чаще куст состоит из центральной и двух-трех наблюдательных скважин, заложенных по одному лучу, желательно перпендикулярному движению подземных вод. Расстояния между центральной и наблюдательными скважинами берутся большими в хорошо водопроницаемых породах и увеличиваются с удалением последних от центральной.

Перед откачкой скважины оборудуются фильтрами. В центральной скважине диаметром 150 - 250 мм устанавливается фильтр диаметром 100 - 150 мм, в наблюдательных скважинах диаметром 75 - 100 мм - фильтр диаметром 50 - 75 мм. Тип фильтра скважин опытных кустов выбирается с учетом литологического состава водосодержащих пород и продолжительности работы скважины.

В галечниках и неустойчивых трещиноватых породах применяются фильтры в виде перфорированной металлической трубы с круглыми или щелевыми отверстиями диаметром или шириной 10 - 20 мм со скважностью 20 - 25%. *Скважность* — отношение площади отверстий к боковой поверхности фильтра в процентах.

При откачке им водоносных песков применяются сетчатые фильтры, и которых рабочая часть состоит из перфорированной трубы с круглыми отверстиями диаметром 5 - 10 мм или щелевыми шириной 10 - 20 и длиной 100 - 200 мм, проволочной обмотки и сетки. Обмотка медном проволокой диаметром 2 - 3 мм производится для того, чтобы сетка не прилегала к трубе плотно и обеспечивала бы большую пропускную способность фильтра. Сетка подбирается с расчетом, чтобы 40 - 60% песчаной породы проходило через ее отверстия. В мелкозернистых глинистых песках для увеличения захватной способности вокруг фильтра устраивается песчано-гравелистая обсыпка толщиной 40 - 60 мм. Диаметр зерен обсыпки берется больше среднего диаметра водоносного песка в 4 - 6 раз.

Рабочая часть фильтра должна быть не менее 3 - 5 м. Пробная откачка ведется при одной-двух ступенях понижения продолжительностью 1 - 2 смены каждая. Опытная откачка проводится при двух-трех ступенях понижения продолжительностью 1 - 3 суток (3 - 9) смен, из них около 8 часов должны наблюдаться постоянные дебит и понижения в центральной и наблюдательных скважинах. Откачка с большей продолжительностью проводится для оценки дебита скважины, пробуренной в целях водоснабжения (до 15 - 45 суток) при неясной водообильности опробуемого водоносного горизонта.

Величина понижения берется: минимальная 1 м и более (до $0,15H$); максимальная 3 м и более (до $0,45H$), где H - мощность безнапорного водоносного слоя или столб воды напорного водоносного слоя.

Для откачки в зависимости от глубины залегания уровня воды и дебита скважины применяются центробежные насосы, штангово-поршневые, эрлифты, артезианские турбинные насосы (АТН) и др.

Во время откачки через каждые 30 - 60 минут замеряют дебит откачиваемой воды и уровня воды по всем скважинам для дальнейшего вычисления коэффициента фильтрации.

В определенных случаях проводят опытный налив в одиночную скважину, шурф или в центральную скважину при наличии наблюдательных. Порядок проведения опытного налива тот же, что и для опытных откачек. Замерив уровень воды в скважинах до опыта, производят налив, подавая в скважину количество воды, равное расходу, при котором созданный уровень сохраняется постоянным. Налив продолжается до тех пор, пока расход и уровень в скважинах будут постоянными в течение нескольких часов и создается установившееся движение воды.

При детальной разведке крупных участков опытными откачками определяют также коэффициент пьезопроводности в артезианских водах и коэффициент уровнепроводности в грунтовых водах, которые необходимы для расчётов расхода и радиуса влияния водоотлива или водопонижающих скважин при проектировании осушения на разные периоды эксплуатации (через 1 год, 5, 10, 20 лет). Коэффициенты пьезопроводности и уровнепроводности характеризуют скорость передачи изменения давления в водоносном пласте под влиянием откачки воды.

Гидрохимическое изучение подземных вод заключается в отборе проб воды из скважин на химический анализ с последующей оценкой ее качества как питьевой или технической, а также для определения агрессивности воды по отношению к бетону и железу.

12.2. Гидрогеологические изыскания для небольших водозаборов

Гидрогеологические изыскания для обоснования проектов водозаборов с незначительной (до 100 м³/сут) потребностью в хозяйственно-питьевой воде, согласно СНиП 11-02—96, выполняются в составе инженерно-геологических изысканий для строительства. Материалы изысканий должны дать достаточный материал для проектирования и строительства (реконструкции) небольших водозаборов подземных вод (средние и малые поселения, небольшие промышленные предприятия, животноводческие фермы и т. п.).

Нормативными документами предусматривается, что изыскания источников водоснабжения должны проводиться на участках с достаточными (по региональной оценке или государственному водному кадастру и кадастру подземных вод) прогнозными ресурсами подземных вод. Для данного вида работ утверждения эксплуатационных запасов не требуется.

Строительные нормы (СНиП 11-02—96) и специализированный Свод правил (СП 11-108—98) по изысканиям источников водоснабжения определяют следующие задачи гидрогеологических изысканий при разработке:

- проектной документации - предварительное определение перспективных участков;
- проекта водозабора - выбор оптимального участка для размещения водозабора подземных вод;
- рабочей документации - получение необходимых материалов для обоснования типа и режима эксплуатации проектируемого водозабора.

Допускается объединять и совмещать отдельные этапы. При достаточной гидрогеологической изученности и в ряде других случаев возможно двух- или одностадийное проектирование. При проектировании одиночных водозаборов объем изысканий принимают минимальным. Техническое задание на гидрогеологические изыскания составляется заказчиком либо отдельно, либо входит в состав технического задания на проектирование комплекса инженерных изысканий.

Программой на изыскания источников водоснабжения в сложных гидрогеологических условиях предусматривается полный комплекс различных видов исследований, включая сбор, обработку и анализ материалов о гидрогеологических условиях района, рекогносцировочное гидрогеологическое обследование территории, в том числе обследование действующих водозаборов, гидрогеологическую съемку, бурение разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин, геофизические исследования, опытно-фильтрационные работы (опытные и другие виды откачек воды), лабораторные исследования состава и санитарного состояния подземных вод и водовмещающих пород, стационарные наблюдения и составление технического отчета (заключения).

Помимо разведочных скважин, предназначенных для изучения геолого-гидрогеологических условий участков предполагаемого размещения водозаборов, бурятся разведочно-эксплуатационные скважины для получения расчётных гидрогеологических параметров.

Производительность (дебит) водозаборного сооружения считается обеспеченным на заданный срок эксплуатации, если расчётное понижение уровня оказывается меньше максимально допустимого понижения уровня или равно ему. При получении положительных результатов опробывания водоносного горизонта на площадке проектируемого водозабора в технический отчёт включают паспорт и акт сдачи-приемки разведочно-эксплуатационной скважины на воду.

В акте-приемке скважины приводятся сведения о её местонахождении, общей глубине, конструкции, проведённой опытной откачке, статическом и динамическом уровне воды, дебите, $\text{м}^3/\text{сут}$, понижении уровня, удельном дебите, $\text{м}^3/\text{ч}$, отобранных пробах воды и датах исследования химического и бактериологического состава.

Разведочно-эксплуатационная скважина на воду должна быть закрыта металлической крышкой, ввинченной (приваренной) в муфту обсадной трубы. Крышка должна иметь отверстие под болт-пробку для замера уровня воды.

По результатам выполненных работ в техническом отчёте по изысканиям подземных источников водоснабжения должны быть представлены:

- 1) необходимые материалы для обоснования и проектирования водозаборов подземных вод;
- 2) установлены границы поясов зоны санитарной охраны (первого пояса - строгого режима, второго и третьего - поясов ограничений);
- 3) мероприятия по охране окружающей среды, включая защиту подземных вод от истощения и загрязнения.

12.3. Гидрогеологические изыскания для обоснования проектов крупных водозаборов

Согласно СНиП 11-02—96, при значительной потребности (более 1000 м³/сут) и в сложных гидрогеологических условиях должны выполняться геологоразведочные работы с подсчётом и утверждением эксплуатационных запасов подземных вод в соответствии с требованиями нормативных документов Министерства природных ресурсов РФ.

Состав и объём работ зависят от сложности гидрогеологических условий различных типов месторождений подземных вод, степени изученности геолого-гидрогеологических условий района, планируемой величины водопотребления и стадии проектирования.

Месторождения подземных вод подразделяют на семь типов:

- 1) в речных долинах;
- 2) в артезианских бассейнах;
- 3) в конусах выноса предгорных шлейфов;
- 4) в массивах трещинно-карстовых вод;
- 5) в песчаных массивах пустынь и полупустынь;
- 6) в водно-ледниковых отложениях;
- 7) в таликовых зонах многолетнемёрзлых пород.

Самое большое распространение и практическое значение имеют месторождения подземных вод речных долин и артезианских бассейнов.

Гидрогеологические изыскания для обоснования проектов крупных водозаборов проводятся в определенной последовательности по следующим стадиям (этапам): поисковые работы, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка. Поиски и разведка подземных вод для водоснабжения ведутся, в основном, специализированными гидрогеологическими организациями Министерства природных ресурсов РФ и реже отделами изысканий проектных институтов.

Поисковые работы. Основная цель поисковых работ - выявить в районе исследований участки (или площади), перспективные по гидрогеологическим условиям для размещения водозаборов.

Перед началом поисковых работ по опубликованным фондовым материалам изучают геолого-гидрогеологические условия района, материалы аэрофотосъёмок, геологические разрезы буровых скважин, пройденных в районе работ, анализируют опыт эксплуатации действующих водозаборов. Если собранные материалы окажутся недостаточными для суждения о перспективности тех или иных участков, непосредственно в поле проводят поисковые работы. Поиски сопровождаются гидрогеологической съёмкой масштаба 1:50 000 - 1:200 000, геофизическими исследованиями, бурением поисковых скважин и небольшим объёмом опытных работ, главным образом пробными откачками. Поисками должна быть охвачена площадь с расстояниями 10 - 20, реже до 100 км и более от объекта водопотребления. В ходе поисковых работ должны быть собраны данные о действующих водозаборах.

На основании поисковых работ составляют гидрогеологическую карту с указанием перспективных участков подземных вод, т. е. районировать территорию для водоснабжения. Карта сопровождается пояснительной запиской (или отчётом) с краткой характеристикой перспективных водоносных горизонтов и обоснованием дальнейших работ на выбранных участках.

Предварительная разведка производится для приближенной оценки эксплуатационных запасов и качества подземных вод в пределах участков, выявленных по результатам поисковых работ. На данном этапе работ выполняют основной объём гидрогеологических изысканий для обоснования проектов водоснабжения.

В состав предварительной разведки входит полный комплекс гидрогеологических исследований: гидрогеологическая съёмка масштаба 1:10 000 - 1:25 000, геофизические исследования, буровые, опытно-фильтрационные,

лабораторные и камеральные работы, а также стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод.

В первую очередь исследуют перспективные участки, расположенные ближе к объекту водопотребления.

Гидрогеологическая съемка на выбранных участках ведется в крупном масштабе: 1:25 000—1:50 000. Цель съёмок - детальное выяснение геологического строения, геоморфологических условий и гидрогеологических особенностей участков. В процессе съёмки изучают возможные источники загрязнения подземных вод (бассейны бытовых и промышленных стоков, участки складирования отходов, скотоводческие фермы и др.), а также делают прогноз о направлении и скорости движения промышленных и сельскохозяйственных стоков после ввода в действие проектируемого водозабора.

Съёмка сопровождается геофизическими исследованиями (электроразведка, каротаж и др.) для уточнения мест заложения буровых скважин, глубины залегания, направления и скорости подземных вод.

В районах с простыми геолого-гидрогеологическими условиями съёмка не проводится и заменяется рекогносцировочным обследованием участков, сопровождаемым геофизическими и другими видами работ.

Ведущим видом гидрогеологических исследований при предварительной разведке является бурение скважин. С его помощью изучают геолого-литологический разрез перспективных участков, определяют гидравлический характер и глубину залегания водоносных горизонтов, устанавливают глубину залегания водоупорных слоёв и их мощность.

Количество скважин на разведываемых участках зависит от сложности геолого-гидрогеологических условий. Скважины бурят на всю мощность водоносного горизонта. При глубине залегания водоупора более 100 м ограничиваются бурением до его кровли 1 - 2 скважин.

Опытные откачки воды проводят из разведочных скважин, вскрывших подземные воды, для определения их дебита, зависимости дебита от понижения, фильтрационных параметров и др.

Качество подземных вод, включая оценку показателей бактериального и химического загрязнения, оценивают по данным лабораторных анализов. Исследования ведут для обоснования зон санитарной охраны, разрабатывают рекомендации по защите подземных вод от возможного загрязнения промышленными стоками.

С помощью стационарных наблюдений изучают режим подземных вод.

Предварительная разведка завершается камеральной обработкой материалов и составлением отчёта, в котором обосновывают выбор участков под детальную разведку с перспективной оценкой эксплуатационных запасов подземных вод.

Детальная разведка производится для оценки эксплуатационных запасов подземных вод по высоким категориям (*A, B*), в пределах участков, отобранных по данным предварительной разведки. В результате детальных изысканий получают полные данные о количестве и качестве подземных вод.

В состав детальных работ входит полный комплекс гидрогеологических исследований, которые выполняют применительно к схеме проектируемого водозабора. Основной вид исследований - опытно-фильтрационные работы, и прежде всего опытные откачки, которые проводятся из всех разведочно-эксплуатационных скважин для уточнения их дебита и фильтрационных параметров пород. В сложных гидрогеологических условиях выполняют опытно-эксплуатационные откачки продолжительностью 2 - 3 и более месяцев.

На стадии детальной разведки проводят более продолжительные по времени стационарные наблюдения за режимом подземных вод (не менее 1 года), которые являются основой для составления баланса подземных вод на участке проектируемого водозабора. Более углубленно изучают качество

подземных вод, детально обосновывают зоны санитарной охраны источника водоснабжения. Завершают детальную разведку подсчётом эксплуатационных запасов.

После их утверждения в Государственной или территориальной комиссиях по запасам полезных ископаемых детальная разведка считается завершённой. По результатам детальной разведки составляют отчёт о гидрогеологических исследованиях для целей водоснабжения.

По форме он принципиально не отличается от инженерно-геологического отчёта. Однако его содержание, особенно специальной части, иное. Гидрогеологический отчет является частью общего проекта водозабора подземных вод и предназначен для его гидрогеологического обоснования.

Наиболее детально отчет составляют при утверждении эксплуатационных запасов по высоким категориям - *А* и *В*. Основное внимание уделяют описанию гидрогеологических условий как по всей площади распространения водоносного горизонта, так и для участка водозабора (более подробно), анализируют результаты бурения скважин, опытно-фильтрационных исследований, стационарных наблюдений за режимом подземных вод. Оценивают качество подземных вод. Приводят основные гидрогеологические расчетные данные, обосновывают выбор участка для размещения водозабора и высказывают соображения по установлению зон санитарной охраны.

В конце отчёта даются выводы по оценке эксплуатационных запасов и по расчётным гидрогеологическим данным, необходимым для проектирования, строительства и эксплуатации водозаборов.

К тексту отчета прилагают гидрогеологические карты, профили, графики и таблицы лабораторных определений воды и другие текстовые материалы.

Эксплуатационная разведка. Гидрогеологические исследования нередко проводятся не только на стадиях проектирования, но и в процессе строи-

тельства водозабора и его последующей эксплуатации. Эти работы входят в комплекс эксплуатационной разведки.

В период строительства водозаборов осуществляют гидрогеологический контроль за правильным проведением строительных работ, влияющих на гидрогеологические условия; соблюдение технических условий бурения эксплуатационных скважин на воду и др.

В процессе бурения скважин следят за соответствием гидрогеологических данных, принятых в проекте, фактическим данным.

Результаты бурения тщательно анализируют и при необходимости вносят коррективы в способы и технологию проходки скважин, их размещение и последовательность разбуривания. Совместно со специалистами-строителями осуществляется плано-высотная привязка всех эксплуатационных и наблюдательных скважин в пределах водозаборного участка.

Водозаборы перед сдачей их в эксплуатацию в обязательном порядке опробуют с помощью опытно-эксплуатационных откачек воды. Сначала производят предпусковое опробывание из каждой скважины в отдельности, а затем групповую строительную откачку из всех скважин водозабора одновременно. Результаты откачек тщательно документируют.

После окончания строительства водосборных сооружений составляют подробные геолого-технические разрезы скважин, технические паспорта и сводные листы опытно-эксплуатационных откачек воды.

При эксплуатации водозаборов ведут стационарные наблюдения за изменениями дебита, динамических уровней и качества подземных вод с помощью специальной сети наблюдательных скважин. Кроме того, проводят опытные работы с временным прекращением эксплуатации и наблюдением за восстановлением уровня. Изучение режима подземных вод в процессе эксплуатации водозаборов позволяет совершенствовать режим их работы, предотвращать истощение запасов подземных вод и их загрязнение.

Одновременно с гидрогеологическими исследованиями на стадиях де-

тальной и эксплуатационной разведок проводят инженерно-геологические исследования для обоснования и уточнения строительной части проекта водозабора. При проектировании крупных водозаборов следует предусматривать наблюдение за деформацией поверхности земли, которая может проявиться при длительной эксплуатации водозаборов.

12.4. Гидрогеологические изыскания в процессе строительства и эксплуатации водозаборов и при их расширении

Гидрогеологические изыскания производят не только на стадиях проектирования, но и в период строительства водозаборов, их эксплуатации и расширении (реконструкции).

В период строительства водозаборов осуществляют гидрогеологический контроль за правильным проведением строительных работ, влияющих на гидрогеологические условия; соблюдением технических условий бурения эксплуатационных скважин на воду и др.

В процессе бурения скважин следят за соответствием гидрогеологических данных, принятых в проекте, фактическим данным.

Результаты бурения тщательно анализируют и при необходимости вносят коррективы в способы и технологию проходки скважин, их размещение и последовательность разбуривания. Совместно со специалистами-строителями осуществляется планово-высотная привязка всех эксплуатационных и наблюдательных скважин в пределах водозаборного участка.

Водозаборы перед сдачей их в эксплуатацию в обязательном порядке опробуют с помощью откачек воды. Сначала производят предпусковое опробывание из каждой скважины в отдельности, а затем групповую строительную откачку из всех скважин водозабора одновременно. Результаты откачек тщательно документируют.

После окончания строительства водозаборных сооружений составляют подробные геолого-технические разрезы скважин, технические паспорта и сводные листы откачек воды.

При эксплуатации водозаборов ведут стационарные наблюдения за изменениями дебита динамических уровней и качества подземных вод с помощью специальной сети наблюдательных скважин. Кроме того, проводят опытные работы с временным прекращением эксплуатации и наблюдением за восстановлением уровня. Изучение режима подземных вод в процессе эксплуатации водозаборов позволяет совершенствовать режим их работы, предотвращать истощение запасов подземных вод и их загрязнение.

При строительстве и эксплуатации одиночных водозаборов, а также водозаборов для небольших потребителей и в простых гидрогеологических условиях объем изысканий принимают минимальным.

Расширение (реконструкция) действующих водозаборов производится для увеличения их дебита (при дополнительной потребности в воде) или для восстановления прежнего дебита, снизившегося из-за истощения запасов подземных вод.

Гидрогеологические изыскания при расширении водозаборов имеют свою специфику, что отличает их от изысканий под новые водозаборы. Эти особенности заключаются в необходимости изучения подземных вод, длительное время подвергавшихся эксплуатации.

Длительная эксплуатация подземных вод, особенно на площадях действия групповых водозаборов, приводит во многих случаях к резкому изменению и усложнению природных геолого-гидрогеологических условий.

Гидрогеологические изыскания при расширении водозаборов проводят в небольшом объеме, если на действующем водозаборе в период эксплуатации производились планомерные гидрогеологические наблюдения и исследования. В этом случае опыт многолетней работы водозаборов служит осно-

вой для оценки эксплуатационных запасов подземных вод на прилегающих к водозаборам участках.

В настоящее время для увеличения производительности действующих водозаборов широко внедряется метод искусственного пополнения запасов подземных вод.

Для определения возможности расширения водозабора за счёт искусственного пополнения запасов производят специальные гидрогеологические изыскания. Их ведут на двух стадиях проектирования: технико-экономическое обоснование (ТЭО) и техно-рабочий проект или на трех стадиях: ТЭО, технический проект и рабочие чертежи.

В комплексе с гидрогеологическими изысканиями осуществляют инженерно-геологические (для обоснования строительства отстойников, инфильтрационных бассейнов и др.) и гидрологические изыскания.

Состав и объём гидрогеологических изысканий принимают в зависимости от степени сложности и изученности природных условий района размещения систем искусственного пополнения запасов подземных вод, величины водопотребления и стадии проектирования.

Гидрогеологическими изысканиями обосновывают выбор метода искусственного пополнения как наиболее рационального средства для увеличения производительности действующего водозабора в данных природных условиях. В процессе изысканий получают сведения, необходимые для выбора способа пополнения запасов подземных вод, разработки типа и конструкции водозаборных сооружений, прогноза их дебита и режима эксплуатации. Особое внимание уделяют изучению поверхностных вод, как источника пополнения запасов подземных вод, исследованию водопроницаемости пород зоны аэрации, а также оценке влияния проектируемых сооружений на окружающую природную среду.

12.5. Изыскания подземных вод для водоснабжения в различных гидрогеологических условиях

Изыскания подземных вод в различных гидрогеологических условиях имеют свою специфику и особенности. В зависимости от типа водоносного горизонта, на который ведётся гидрогеологическая разведка, состав и объём изысканий могут быть различными, меняется и методика работ.

Рассмотрим эти особенности на примере изысканий основных типов подземных вод, используемых для водоснабжения: источников, грунтовых вод речных долин, подземных вод конусов выноса, карстовых, мерзлотных и артезианских вод.

Изыскания источников (родников) подземных вод ведут с помощью гидрогеологической съемки масштаба 1 : 50 000, важнейшей составной частью которой является изучение дебита источников, их химического состава, температуры и др. На участках выхода крупных источников закладывают буровые скважины для изучения геологического строения и водоносности пород. С помощью геофизических исследований выявляют участки скрытого выхода подземных вод и изучают общее геологическое строение района. Проводят длительные наблюдения за режимом источников и оценивают их пригодность для водоснабжения. Каптаж крупных источников осуществляют на основе утвержденных запасов подземных вод.

Изыскания грунтовых вод речных долин проводят с использованием полного комплекса гидрогеологических исследований. Объясняется это не только водообильностью аллювиальных отложений и в связи с этим значительной их ролью в водоснабжении, но и исключительной неоднородностью состава и фильтрационных свойств водоносных пород как в вертикальном разрезе, так и по площади распространения. При разведке грунтовых вод в долинах рек важно установить наличие или отсутствие гидравлической связи грунтового потока с рекой, оценить возможность подсоса загрязнённых по-

верхностных вод проектируемым водозабором, дать прогноз возможного за-
иления водоносных отложений в русле реки при эксплуатации водозабора и
др.

Гидрогеологические изыскания ведут в три этапа: *поисковые работы, предварительная разведка и детальная разведка*, а в хорошо изученных рай-
онах в два этапа (без поисковых работ).

На стадии предварительной разведки участки разбуривают по попереч-
никам, нормальным к реке, включая не только зону террас, но и коренные
породы в берегах реки. Фильтрационные свойства пород, связь грунтовых
вод и поверхностных, удельные дебиты скважин изучают с помощью опыт-
ных откачек воды, как из одиночных скважин, так и из кустовых. Кустовые
откачки обычно располагают с двумя лучами: перпендикулярно и параллель-
но берегу реки, с 4 - 5 наблюдательными скважинами на каждом из них. В
сложных природных условиях проводят пробно-эксплуатационные откачки
продолжительностью в несколько месяцев. Широко используют геофизиче-
ские методы как с поверхности (наземные), так и скважинные (электро- и
гаммакаротаж, резистивиметрия и др.).

На стадии детальной разведки работы продолжают применительно к
предполагаемым схемам размещения водозаборов. В долинах рек с постоян-
но действующим водотоком водозаборные сооружения (а следовательно, и
разведочный участок для детальных работ) располагают параллельно берегу
реки, вблизи русла и выше по течению от городов и мест сброса сточных вод.
Расстояния между скважинами при разведке выбирают от нескольких десят-
ков метров (в очень сложных геологических условиях) до нескольких сотен
метров. Значительно реже водозаборные сооружения размещают равномерно
по всей площади аллювиального водоносного горизонта (в долинах рек с пе-
риодическим водотоком). Важное значение при детальном исследовании
имеют опытные откачки воды (одиночные и кустовые), а также групповые
откачки из 2 - 4 скважин одновременно для изучения их взаимодействия. Во

всех случаях проводят стационарные режимные наблюдения за грунтовыми и поверхностными водами.

При изучении *подземных вод конусов выноса* в предгорных районах проводят детальную гидрогеологическую съемку всей их площади. Буровые скважины располагают по наиболее характерным линиям: от предгорий в сторону равнины, т. е. по направлению потока подземных вод и нормально к направлению потока. Водозабор линейного типа протяженностью до 20 - 30 км размещают обычно в средней части конуса выноса по линии нормальной к направлению потока. Глубина разведочных скважин достигает 600 м и более (обычно 200 - 300 м), что связано с большой мощностью водоносных гравийно-галечниковых накоплений. После проходки скважин выполняют опытные одиночные и кустовые, групповые и пробно-эксплуатационные откачки. Режим подземных вод в предгорных районах отличается непостоянством, поэтому проводят длительные стационарные наблюдения за его изменением. При хорошей изученности гидрогеологических условий изыскания подземных вод проводят в две стадии - *предварительную и детальную*. Нередко они объединяются и проектирование водозаборов ведут в одну стадию.

Гидрогеологические изыскания *карстовых вод* проводят обычно в сложной геологической и гидрогеологической обстановке, в условиях исключительной фильтрационной неоднородности закарстованных пород. Поэтому изыскания, как правило, ведут в три стадии: *поисковая разведка, предварительная разведка и детальная*.

В ходе поисковых работ выявляют зоны повышенной трещиноватости, закарстованности, а следовательно, и повышенной водообильности. Гидрогеологическая съёмка при поисках сопровождается геофизическими исследованиями (наземными и скважинными), роль которых значительна. Тщатель-

но изучают, как и при разведках других типов подземных вод, опыт эксплуатации водозаборов, действующих в аналогичных условиях.

На стадиях предварительной и детальной разведки продолжают бурение скважин, проводят опытно-фильтрационные работы, ведут стационарные наблюдения за режимом карстовых и связанных с ними поверхностных вод. Участок для детальной разведки и размещения будущего водозабора выбирают в котловинах, западинах и других понижениях карстового рельефа. Именно к этим отрицательным формам рельефа приурочены наиболее водообильные карстовые воды.

Специфичны поиски и разведка подземных вод в районах *многолетней мерзлоты*. На различных стадиях изысканий изучают взаимосвязь надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных вод, исследуют мерзлотные явления (наледы, талики и другие проявления водоносности), температурный режим горных пород, влияние искусственных факторов (устройство водохранилищ, застройка территории и др.) на режим подземных вод и т.д.

Гидрогеологическую съемку проводят в два этапа: в период наибольшего оттаивания деятельного слоя и в период наибольшего промерзания грунтов. Наблюдения за объёмом таликов, наледей и других мерзлотным форм позволяют оценить водообильность питающих их подземных вод.

Скважины в мерзлых рыхлых породах бурят по особой технологии. Производят опытно-фильтрационные работы и лабораторные исследования мерзлых и оттаивших горных пород.

Гидрогеологические изыскания *артезианских вод*, в зависимости от степени изученности артезианских бассейнов, выполняют или в две стадии (*предварительную и детальную*), или в одну стадию (*детальная разведка*).

В хорошо изученных артезианских бассейнах платформенного типа гидрогеологическую съемку не производят. Участки для детальной разведки

выбирают на основании имеющихся геологических и гидрогеологических материалов и данных геофизической разведки. На выбранных участках бурят скважины глубиной до 800 м и более (обычно 200 - 300 м). Каждую скважину опробуется опытными откачками воды. Проводят также кустовые, групповые и пробные эксплуатационные откачки. Обязателен комплекс геофизических исследований в скважинах.

Изучают фильтрационные свойства и водообильность всех напорных водоносных горизонтов, однако детальному опробыванию подвергают только наиболее перспективный, с повышенной водопроницаемостью.

В артезианских бассейнах водозаборы линейного, реже площадного типа, размещают на участках с наибольшей водообильностью, как правило, в краевых зонах синклинальных структур.

В заключение необходимо отметить, что в зависимости от типа подземных вод себестоимость гидрогеологической разведки 1 м³/сут эксплуатационных запасов подземных вод существенно меняется. По данным различных авторов наибольшая себестоимость разведки характерна для карстовых вод, а наименьшая для артезианских вод платформенного типа, подземных вод конусов выноса и напорных вод ледниковых отложений.

Окончательный выбор участка размещения водозабора, его типа и схемы в любых природных условиях производится на основе технико-экономических расчётов с учётом гидрогеологических условий, санитарного состояния, близости к водопотребителю и других показателей.

Контрольные вопросы

- 1. Назовите этапы гидрогеологических исследований.*
- 2. В чём отличие изысканий для небольших и крупных водозаборов?*
- 3. Какие требования предъявляются при стационарных наблюдениях?*
- 4. В чём суть опытно-фильтрационных исследований?*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев, В.П. Инженерная геология и гидрогеология / В.П.Ананьев, Л.В.Передельский – М.: Высшая школа, 1980 – 271с.
2. Ломакин, И.М. Основы гидрогеологии / И.М.Ломакин, Д.А.Манукьян - Москва: МГУ природообустройства, 2006 - 199с.
3. Мурашова, Е.Г. Динамика подземных вод / Е.Г.Мурашова – Благовещенск: ДальГАУ, 2005.- 34 с.
4. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология – Новосибирск: Наука, 1980, 225 с.
5. Передельский, Л.В. Инженерная геология / Л.В.Передельский, О.Е.Приходченко – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006 – 447с.
6. Платов, Н.А. Основы инженерной геологии / Н.А.Платов – М.: ИН-ФРА-М, 2011 – 192с.
7. Скабалланович, И.А. Гидрогеология, инженерная геология и осушение месторождений / И.А. Скабалланович, М.В. Седенко - М.: Недра, 1973, 194 с.

СОДЕРЖАНИЕ .

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ.....	5
1.1. Испарение.....	7
1.2. Осадки	8
1.3. Поверхностный и подземный сток.....	9
Глава 2. ГЕНЕЗИС ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	11
Глава 3. ВИДЫ ВОДЫ В ГРУНТАХ	15
Глава 4. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД	18
Глава 5. СВОЙСТВА, СОСТАВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	25
5.1. Физические свойства подземных вод.....	25
5.2. Химический состав подземных вод	27
5.3. Оценка качества подземных вод.....	28
5.4. Агрессивность подземных вод к строительным конструкциям	29
5.5. Использование подземных вод	32
Глава 6. ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	33
6.1. Верховодка	35
6.2. Грунтовые воды.....	37
6.3. Межпластовые подземные воды.....	40
6.4. Подземные воды районов многолетней мерзлоты.....	44
6.5. Трещинные воды	52
6.6. Карстовые воды	54
Глава 7. ИСТОЧНИКИ.....	56
Глава 8. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	61
8.1. Общие понятия о движении подземных вод.....	61
8.2. Основные законы движения подземных вод	64
8.3. Движение подземных вод в естественных условиях	68

8.4. Движение подземных вод к водосборным сооружениям	72
8.5. О взаимодействии водопонижающих скважин и их расчёт	83
8.6. Уравнения для определения коэффициента фильтрации по данным откачек	87
8.7. Водопонижение и дренаж	90
Глава 9. РЕЖИМ И БАЛАНС ПОДЗЕМНЫХ ВОД	97
9.1. Режим подземных вод	97
9.2. Режим подземных вод в условиях влияния техногенных факторов	100
9.3. Баланс подземных вод	102
Глава 10. ЗАПАСЫ И РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	104
10.1. Классификация запасов подземных вод по гидрогеологическим условиям	105
10.2. Классификация эксплуатационных запасов подземных вод по степени изученности	106
Глава 11. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД	108
11.1. Истощение запасов подземных вод	108
11.2. Загрязнение подземных вод	111
11.3. Зоны санитарной охраны (ЗСО)	115
Глава 12. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	117
12.1. Гидрогеологические исследования	117
12.2. Гидрогеологические изыскания для небольших водозаборов	122
12.3. Гидрогеологические изыскания для обоснования проектов крупных водозаборов	125
12.4. Гидрогеологические изыскания в процессе строительства и эксплуатации водозаборов и при их расширении	131
12.5. Изыскания подземных вод для водоснабжения в различных гидрогеологических условиях	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	139

Мурашова Елена Георгиевна

ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 03.04.2013 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 6,5. Усл.-п.л. – 9,0.

Тираж 100 экз. Заказ 63.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86